

Ziel oder Zufall?

Stephan Krall

Was ist der Mensch? Wo kommt er her?
Warum ist er dort nicht geblieben?

Matthias Beltz (1945-2002, Kabarettist)

Welche Rolle spielen Lebewesen im Kosmos und wie ordnet sich der moderne Mensch (*Homo sapiens*) in dieses Gesamtgefüge ein? Was ist eigentlich Leben, wie unterscheidet es sich von unbelebter Materie? Entwickelt sich der Kosmos und die Evolution der Lebewesen gezielt in eine Richtung, vielleicht sogar auf ein Ziel hin? Diese Fragen haben bereits Aristoteles vor fast 2300 Jahren beschäftigt und bis heute denken Naturwissenschaftler und Philosophen darüber nach, wenngleich die Beschäftigung mit diesen Fragen, durch die immer mehr zunehmende Spezialisierung in den Naturwissenschaften mehr und mehr aus dem Blickfeld gerät. Allerdings ist in Bezug auf Fragen zur Funktionsweise der Evolution einiges in Bewegung. All dies wird in dem nachfolgenden Beitrag angesprochen.

Einleitung

Als Biologe ist es mir seit vielen Jahren ein Anliegen, über die oben genannten Fragen nachzudenken. Mich beschäftigt sowohl die Frage, was Leben ist, als auch die Frage nach Teleologie und Finalismus versus Zufall, aber auch nach Zweck, Zweckmäßigkeit und Zielorientierung (siehe zu den Begriffen das Glossar). Im 19. und frühen 20. Jahrhundert war diese Fragestellung sehr präsent und wurde äußerst kontrovers diskutiert. Es gab zwei Lager. Das eine hielt eine zielgerichtete Evolution des Lebens für absolut zwingend und einige meinten auch, dass sich alles auf ein Ziel zubewegt. Die andere Fraktion, die der Ansicht war, alles sei Zufall, hat zunehmend die Oberhand gewonnen und nur noch wenige Naturwissenschaftler vertreten heute teleologische Gedanken. Bei Philosophen scheint das etwas anders zu sein.

Viele Philosophen haben, wenn sie über das Thema Teleologie und Leben nachdachten, vordringlich dem modernen Menschen (*Homo sapiens*) im Auge gehabt. Als Biologe sind für mich im Gegensatz dazu alle Lebewesen und auch die Entstehung des Lebens wichtig, um ein Verständnis für die Fragestellung zu entwickeln.

Ich beginne mit dem Universum, um deutlich zu machen, wo wir als Menschen auf der Erde im Universum stehen und was das bei den unermesslichen Dimensionen für uns bedeutet. Erst dann komme ich auf das Leben auf der Erde zu sprechen. Zum Schluss gehe ich, fast synoptisch noch einmal auf die Begriffe Teleologie, Teleonomie, Zweck und Zufall ein. Abgeschlossen wird der Artikel mit einem Glossar über die wichtigsten Begriffe, die ich verwende und einiges zu bedeutenden Autoren und deren Schriften. In den Text sind immer wieder Kästen mit Exkursen zu in meinen Augen wichtigen Themen eingestreut.

Was die genannten Zahlen in der Erdgeschichte angeht, sind diese umso ungenauer, desto mehr sie in der Vergangenheit liegen. Ob die Fotosynthese schon vor 3,5 Milliarden Jahren,

oder erst von 2,7 Milliarden Jahren entstand, wird in der Literatur z. B. sehr unterschiedlich angegeben. Ich habe mich entweder an häufig genannten Zahlen orientiert oder Intervalle angegeben.

Eine kleine Kosmologie

Wo befinden wir uns im Kosmos mit unserem Planeten Erde und wann ist diese entstanden? Das Sein begann nach heutigem Stand der Wissenschaft vor rund 13,8 Milliarden Jahren mit einem Urknall. Ob es ein Urknall war oder anders begann, ist für meine Fragestellung allerdings nicht entscheidend. Vor dem Beginn des Seins gab es einen homogenen und isotropen raum- und zeitlosen Zustand und somit nach meiner Interpretation kein Nichts. Irgendwann nach dem Urknall bildete sich Materie und Energie und daraus entstanden Sterne (Sonnen), einige davon mit Planetensystemen. Sterne sind in Sternensystemen (Galaxien) vereint, die verschiedene Formen haben können. Die Galaxien sind nicht gleichmäßig im Kosmos verteilt, sondern bilden Galaxienhaufen (Cluster) mit einigen Tausend Galaxien, die sich in einem gemeinsamen Schwerefeld bewegen.

Unsere Galaxie nennen wir Milchstraße. Sie hat eine Spiralform und dreht sich wie ein an eine Holzstange genageltes Feuerrad, wie man es früher zu Silvester entzündete. In der Milchstraße, wegen seiner Form auch Spiralnebel genannt, liegt unser Sonnensystem in einem der Spiralarme. Die uns am nächsten liegende Sonne in unserer Galaxie ist Proxima Centauri in etwa 4,25 Lichtjahren Entfernung. Sie ist viel kleiner als unsere Sonne hat aber auch Planeten¹. Unsere Milchstraße hat einen Durchmesser von rund 100.000 Lichtjahren, die Entfernung unseres Sonnensystems zum Zentrum der Milchstraße beträgt rund 26.000 Lichtjahre. Große Entfernungen werden in Lichtjahren gemessen, also der Zeit, die das Licht in Jahren benötigt.

Die nächstgelegene Galaxie zu unserer ist der Andromedanebel mit einer Entfernung von 2,5 Millionen Lichtjahren. Sie gehört mit unserer Milchstraße und rund 30 anderen Galaxien zur sogenannten Lokalen Gruppe. Der nächste Galaxienhaufen ist der Virgo-Galaxienhaufen mit einer Entfernung von 54 Millionen Lichtjahren von der Milchstraße. Er umfasst vermutlich mehr als 2000 Galaxien. Gemeinsam gehören wir zum Virgo-Superhaufen. Schon bis 1974 sind rund 10.000 solcher Galaxienhaufen gezählt worden. Es wird derzeit geschätzt, dass es 200 Milliarden Galaxien in den Galaxienhaufen im sichtbaren Universum gibt. Unsere Galaxie hat rund 200 Milliarden Sterne (Sonnen). Über die Gesamtzahl der Sterne im Universum gibt es keine verlässlichen Zahlen, es könnten aber 70 Trilliarden sein, viele davon mit einem Planetensystem wie unserem, und davon wieder eine riesige Zahl von Planeten in der sog. habitablen Zone, also einer Zone mit günstigen Bedingungen für Leben wie es auf unserer Erde existiert. Das heißt aber noch nicht, dass es dort Leben gibt.

Man kann also bereits jetzt festhalten, dass es Lebewesen, welcher Art auch immer, überall im Universum geben kann und vermutlich auch gibt. Wir sind nicht allein, nur ist anderes Leben sehr weit entfernt. Und man sollte den Zeitfaktor seit der Entstehung des Universums berücksichtigen. Unsere Sonne entstand vor 4,7 Milliarden Jahren, das Planetensystem nicht lange danach, vor 4,6 Milliarden Jahren. Das heißt, dass ältere Sonnen im Universum mit Planetensystemen, auf denen Leben entstanden sein könnte, schon lange wieder in einer Supernova verglüht sein werden, während andere erst entstehen. Es gibt keine Gleichzeitigkeit im

¹ Der bekannteste Planet ist Proxima Centauri b. Er hat vermutlich lebensfreundliche Bedingungen, allerdings hat er eine sog. gebundene Rotation, wie unser Mond, und zeigt somit der Sonne immer dieselbe Seite. Nur diese ist also beschienen, was erhebliche Auswirkungen auf mögliches Leben haben würde.

Universum, was das Auftreten von Leben angeht, schon gar nicht komplexes und intelligentes Leben, wie das von *Homo sapiens*. Bevor ich auf Leben auf der Erde zu sprechen komme, möchte ich versuchen, die bisher genannten Dimensionen etwas deutlicher zu machen.

Unsere Erde hat einen Durchmesser von knapp 13.000 Kilometern und einen Umfang von 40.000 Kilometern. Das sind Dimensionen, die sich fast jeder noch vorstellen kann, seit Langstreckenflüge an der Tagesordnung sind, die schnell die Hälfte des Erdumfangs betragen können, wie ein Flug von Deutschland nach Neuseeland. Die nächste Distanz, die wir uns noch vorstellen können, ist die Entfernung zum Mond, im Durchschnitt sind das knapp 385.000 Kilometer. Da die Lichtgeschwindigkeit, somit auch die der Funkwellen im Vakuum 300.000 Kilometer pro Sekunde beträgt, ist der Funkverkehr zum Mond innerhalb einer guten Sekunde möglich, quasi noch ohne eine Verzögerung. Die internationale Raumstation ISS befindet sich übrigens in einer Höhe von nur 400 Kilometern. Das ist weniger als die Distanz Frankfurt-Hamburg. Trotzdem wird von Weltraum gesprochen, was per Definition richtig ist, denn dieser beginnt ab einer Höhe von 100 Kilometern.

Der Abstand der Erde zur Sonne beträgt 147-152 Millionen Kilometer, da sich die Erde auf einer elliptischen Bahn um die Sonne bewegt. Das Licht braucht von der Sonne zu uns rund 500 Sekunden, das sind über 8 Minuten. So lange dauern also auch Funksignale von der Erde dorthin, wie zu der Raumsonde „Parker Solar Probe“, die sich der Sonne bis auf 5,9 Millionen Kilometer nähert. Größere Entfernungen, als die zur Sonne, werden der Einfachheit halber nur noch in Bezug auf die Dauer, die das Licht zum Ziel benötigt, gemessen, da sonst gigantische Zahlenmonster entstehen, wie ich gleich zeige. Das Licht breitet sich mit einer Geschwindigkeit von 300.000 Kilometer pro Sekunde (km/s) aus, das sind etwas mehr als 1 Milliarde Stundenkilometer (km/h).

Die zu uns nächstgelegene Sonne ist, wie erwähnt, Proxima Centauri in einer Entfernung von 4,25 Lichtjahren, das sind 40 Billionen Kilometer, ausgeschrieben 40.000.000.000.000 Kilometer (1 Lichtjahr entspricht 9,5 Billionen Kilometern). Ein Funkspruch würde bis dorthin, da wir ja die Distanz in Lichtjahren messen, genauso lange, also 4,25 Jahre brauchen. Eine Antwort ebenso. Würde jemand zu Proxima Centauri b, dem genannten Planeten, fliegen wollen, würde ein Funkverkehr kaum mehr sinnvoll sein, wenn eine einzige Frage und die Antwort darauf bereits auf halber Strecke über 4 Jahre dauert. Auch die reine Steuerung einer Raumkapsel von der Erde aus wäre nicht mehr möglich. Und ein Flug dorthin würde nach heutigem Stand der erreichbaren Geschwindigkeiten von bemannten Raumschiffen rund 70.000 Jahre dauern, das wären 2800 Generationen von Menschen bei einer Generationsdauer von 25 Jahren. *Homo sapiens* hat das heutige Europa erst von rund 50.000 Jahren besiedelt. Ein Flug mit heute erreichbarer Geschwindigkeit von bemannten Raumflügen ist also völlig unrealistisch.

Mit der schnellsten derzeit verfügbaren (unbemannten!) Raumsonde, der oben genannten Parker Solar Probe, die Geschwindigkeiten von bis zu 700.000 km/h erreichen kann, würde die Reise etwa 6.700 Jahre dauern, also immer noch 268 Generationen, die sich alle im Raumschiff abspielen müssten. Das wäre etwa die Zeitspanne von der Jungsteinzeit bis heute.

Selbst mit 10% der Lichtgeschwindigkeit², also 108 Millionen Stundenkilometern, wären das noch 42,5 Jahre. Es müssten Kinder auf dem Raumschiff geboren werden, andere Insassen würden sterben und zurück kämen die ersten Insassen kaum mehr. Über die riesige Menge an Lebensmitteln, die sich in einem solchen Raumschiff befinden müssten, möchte ich hier gar

² Bei dieser Geschwindigkeit fiele der relativistische Effekt der Zeitdilatation noch nicht ins Gewicht.

nicht erst spekulieren. Für mich ist ein solches Vorhaben völlig unrealistisch. Übrigens würde sich bei dieser Geschwindigkeit die Zeitdilatation, die Zeitstreckung nach der Relativitätstheorie, noch nicht bemerkbar machen. Für die Raumfahrer verginge die Zeit fast genauso schnell wie auf der Erde.³

Wir reden bisher nur über die uns am nächsten gelegene Sonne, Proxima Centauri und deren Planeten Proxima Centauri b. Jeder möge sich anhand der oben für andere Galaxien genannten Entfernungungen die Zahlen selbst einmal ausrechnen und wird dann schnell feststellen, dass Ideen, den Weltraum als *Homo sapiens* zu erkunden völlig absurd sind. Das ginge derzeit nur, wenn die Gesetze der Physik, z. B. die Lichtgeschwindigkeit, und die biologischen Voraussetzungen für *Homo sapiens* nicht gelten würden. Dafür spricht aber wenig. Umgekehrt heißt das, dass kaum damit zu rechnen ist, dass UFOs mit Lebewesen von anderen Sternensystemen auf der Erde ankommen oder angekommen sind, denn auch diese würden den Gesetzen der Physik unterliegen.⁴

Es bleibt also von einer erreichbaren Entfernung, da die Sonne nicht in Frage kommt, derzeit nur die Reise zum Mars, in der Hoffnung, dass dort bessere Bedingungen herrschen als auf dem Mond und eine Besiedelung mit viel Fantasie möglich sein könnte. Besser als auf der Erde wird es dort für uns allerdings nicht sein. Der Mars ist von der Erde unterschiedlich weit entfernt, da er sich in anderer Geschwindigkeit auf seiner elliptischen Umlaufbahn um die Sonne bewegt als die Erde. Die nächste Entfernung zur Erde wären 56 Millionen Kilometer, die weiteste 401 Millionen Kilometer. Derzeit würde eine Reise zum Mars rund 8,5 Monate dauern, bei kurzer Distanz. Hin und zurück also eineinhalb Jahre, ohne eine Verweildauer auf dem Mars. Und was würden die Raumfahrer auf dem Mars vorfinden, was müssten sie alles mitnehmen, um dort überleben zu können, wie groß müsste ein solches Raumschiff sein, was sollen sie atmen? Und der Funkverkehr würde einige Minuten bis über eine viertel Stunde, je nach Entfernung, dauern.

Dazu kommt das Problem eines längeren Aufenthalts in der Schwerelosigkeit mit u. a. dem Abbau von Knochen, Muskeln und Blutkörperchen, sowie der genschädigenden Strahlung aus dem All. Um zumindest eine gewisse Gravitation in einem Raumschiff zu erzeugen, das ja nicht unbegrenzt groß sein kann, müsste eine Zentrifuge installiert werden. 1929 erschien ein Buch von Hermann Potočnik (1892-1929) unter dem Pseudonym Hermann Noordung⁵, in dem er für eine potenzielle dreiteilige Raumstation ein Modul vorsah, das er „Wohnrad“ nannte. Es sollte einen Durchmesser von 30 Metern haben und eine Umdrehung sollte 8 Sekunden dauern. Man wusste also schon in den 1920er Jahren von den Problemen der Schwerelosigkeit. Wernher von Braun (1912-1977) kannte das Buch und beteiligte sich später an Überlegungen zur Möglichkeit, eine Raumstation mit Gravitation zu bauen. Auch er schlug eine Raumstation in Form eines großen rotierenden Rades, in dem Gravitation durch eine Zentripetalkraft erzeugt wird, vor. Eine solche Raumstation, also kein Raumschiff, müsste einen Durchmesser von mehreren Kilometern haben. Und es gäbe auch erhebliche Probleme mit der Corioliskraft. Wer den Stanley-Kubrick-Film „2001: Odyssee im Weltraum“ von 1968 gesehen hat, wird sich an die riesige

³ Erst bei fast 90% Lichtgeschwindigkeit macht sich dieses Phänomen signifikant bemerkbar.

⁴ Es wird immer wieder gesagt, dass man durch sog. Wurmlöcher reisen könnte. Das ist aber nach allgemeiner wissenschaftlicher Meinung kaum möglich und wenn es überhaupt ginge, würde die Zeit auch nicht wesentlich verkürzt werden. Wenn man statt 100 Lichtjahren nur 33 reisen würde, wäre nicht viel gewonnen.

⁵ Hermann Noordung (1929) Das Problem der Befahrung des Weltraums. Berlin: Richard Carl Schmidt & Co. (Potočnik schrieb das Buch bereits 1928, sein Verleger datierte es auf 1929).

Raumstation in Form eines Doppelrade erinnern. Auch Kubrick war angeregt von Potočniks Buch.

Exkurs: Evolution des *Homo sapiens*

Der moderne Mensch ist durch sein selbstreflexives Bewusstsein in die Lage versetzt worden, eine umfangreiche Technik und Kultur zu entwickeln, die von der der Tiere fundamental abweicht. Zwar wenden auch verschiedene Vogel- und Affenarten und einige andere Tiere Werkzeuge an und entwickeln dabei intelligente Lösungen. Aber das ist kein Vergleich mit dem, was Menschen in nur einigen zehntausend Jahren geschaffen haben. Er kann mit Werkzeugen andere Werkzeuge herstellen, das kann kein anderes Lebewesen, soweit mir bekannt ist.

Deshalb muss man beim Menschen zwischen der biologischen und der technisch-kulturellen Evolution unterscheiden. Entscheidend ist dabei, dass wir uns zu einem bedeutenden Teil aus der klassischen biologischen Evolution herausgenommen haben und die Entwicklung vor allem über Technik geht. Das bietet viele Vorteile, aber wir haben uns deshalb biologisch seit unserer Ankunft in Europa vor rund 50.000 Jahren kaum weiterentwickelt.

Am Beispiel Krankheiten sei das kurz erläutert. Wenn Tiere oder Pflanzen, die keine domestizierten Arten oder Kulturpflanzen sind, eine Krankheit bekommen, können je nach Schwere der Krankheit viele Individuen daran sterben. Zum kompletten Aussterben einer Art, auch in der Regel tödlich verlaufenden Krankheiten, kommt es meist nicht, aber eine Population kann erheblich dezimiert werden. Die Folge kann einerseits sein, dass sich eine Population durch die Überlebenden wieder erholt, aber es könnten auch resistente oder tolerante Individuen überlebt haben, die sich evolutiv durchsetzen und die sich neu aufbauende Population damit insgesamt widerstandsfähiger macht.

Beim Menschen findet das in weiten Teilen nicht mehr statt. Wenn ein gefährlicher Virus auftaucht, wie Betacoronavirus SARS-CoV-2, der die Krankheit COVID-19 verursacht, wird fieberhaft (und mit Erfolg) nach Impfstoffen gesucht und erkrankte Menschen mit den zur Verfügung stehenden technischen und medizinischen Mitteln und Möglichkeiten behandelt. Eine natürliche Resistenz kann so in unserem Kulturreis kaum entstehen. Die Krankheit ebbt irgendwann ab, wie geschehen, und biologisch haben sich die Menschen kaum angepasst. Das ist gut so, aber es gibt somit keine biologische Evolution im klassischen Sinne mehr. Das gilt für viele andere Fälle ebenso. Wenn wir Menschen nicht in der Lage wären, alles technisch auszugleichen, könnten wir erhebliche Probleme bekommen. Wir können nur hoffen, dass es nicht so weit kommt.

Das zeigt zwei Dinge. Erstens, dass *Homo sapiens* mit seinem Intellekt und technischen Fähigkeiten viele Dinge meistert, die wir biologisch eigentlich nicht können, z. B. Fliegen. Zweitens muss aber klar sein, dass wir unsere eigene Natur nicht einfach ändern können. Wir können Organe transplantieren und Ersatzteile einsetzen, wie künstliche Hüften und Herzschrittmacher, aber wir bleiben im Grundaufbau immer dieselbe Art. Da wir uns der biologischen Evolution weitgehend entzogen haben und diese durch eine kulturelle und technische ersetzen, wird sich an unserer Natur wenig ändern. Wir sind im Grunde noch genau die Menschen wie in der Steinzeit.

Ich meine, dass wir unsere Erde besser behandeln sollten und auch uns Menschen untereinander. Dann könnten wir auf unserem Planeten wunderbar leben. Die Idee einer Auswanderung auf andere Planeten ist nur eine Flucht vor unserer eigenen Unfähigkeit friedlich und nachhaltig mit uns und unserer Umwelt zu leben. Wenn Menschen, wie Elon Musk mit seinen Raketen, auf einem anderen Planeten eine neue Zivilisation aufbauen würden, wäre diese in kurzer Zeit genauso zerstörerisch wie die derzeitige auf der Erde.

Zum Abschluss dieses Abschnitts komme ich zum ersten Mal auf die Frage nach der Teologie zu sprechen. Wenn wir vom Universum und seiner Entwicklung reden, dreht es sich in allererste Linie um unbelebte Materie. Können wir, auch wenn das Sein als solches unerklärlich ist, von einer Zielgerichtetheit der Entwicklung des Universums sprechen? Ich habe meine Zweifel, weil ich in der Bildung von Energie und Materie, von Sonnensystemen und Galaxien und deren Auseinanderstreben im Raum keine vorgegebene Richtung sehe und auch kein Ziel, auf das alles hinsteuert, außer den höchsten Grad der Entropie nach dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik. Ich kann auch dem Panpsychismus nichts abgewinnen, der vertritt, dass alles, belebtes und unbelebtes Sein, geistige Eigenschaften besitzt. Für mich ist eine so klare Grenze zwischen dem Lebendigen und Nicht-Lebendigen, dass ich diesbezüglich einen deutlichen Unterschied mache.

Wenn man einem strikten Determinismus vertritt, könnte man natürlich sagen, dass alles eine Frage von Ursache und Wirkung ist und somit vorherbestimmt. Die Quantenphysik hat aber das Moment der Unbestimmtheit in die Physik eingeführt und damit die Probabilität, also den Zufall, auch wenn es Wahrscheinlichkeiten gibt. Insofern entwickelt sich in meinen Augen das Universum zwar in Teilen deterministisch, aber genauso gibt es immer wieder Zufälle, die nicht vorhersagbar sind. Man kann das auch nicht trennen, denn das eine bedingt das andere. Deswegen kann man nicht von einer vorgegebenen Richtung und einem Ziel sprechen.

Leben auf der Erde

Mit dem vorherigen Kapitel habe ich die Dimensionen in unserem Sonnensystem, in der Milchstraße und im Universum beschrieben und komme nun zurück auf die uns vertraute Erde. Wie bereits weiter oben ausgeführt, entstand die Erde zusammen mit den anderen Planeten unseres Sonnensystems vor rund 4,6 Milliarden Jahren, der Mond nach 4,5 Milliarden Jahren. Obwohl es auf der Erde zu Anfang sehr unfreundlich war, was Leben angeht, entstand dieses nach nur 600 bis 800 Millionen Jahren.⁶ Von heute an könnte es vielleicht noch weitere 1-2 Milliarden Jahre Leben auf der Erde geben, bevor es durch die sich ausdehnende Sonne und die damit einhergehende Zunahme der Temperatur nicht mehr möglich ist. Für uns Menschen wird es, sofern es uns als Art dann überhaupt noch gibt, schon in 1 Milliarde Jahre vorbei sein. Wir haben die Halbzeit des Lebens auf der Erde bereits überschritten.⁷

Kann man schließen, dass Leben im Kosmos entstehen muss, also auf eine Art teleologisches Prinzip in Bezug auf Leben? Was man sagen kann, ist, dass die Entstehung von Leben nicht nur möglich ist, sondern bereits beim Beginn des Universums als Möglichkeit bestanden haben muss. Denn alles, was ist, und das betrifft nicht nur Leben, muss beim Urknall potenziell

⁶ Auf die Theorien zur Entstehung des Lebens gehe ich hier nicht ein. Aber Leben wird nur einmal entstanden sein, da sich alle Lebewesen in ihrem Grundprinzip (DNS, RNS, Chiralität etc.) sehr ähnlich sind. Ob das für anderes Leben im Universum auch der Fall ist, wäre spannend zu wissen. Ich kann mir aber vorstellen, dass es auf anderen Planeten auch andere Grundlagen für Leben gibt.

⁷ Der Hinweis an diejenigen, die an einen Schöpfer und das Endprodukt Mensch glauben: Er (oder Sie?) hätte es sich sehr spät überlegt, den Menschen zu schaffen, sozusagen kurz vor Toresschluss.

schon möglich gewesen sein, sonst wäre es nicht entstanden. Ich bin überzeugt, dass dort, wo die Bedingungen für Leben günstig sind, dieses auch entsteht oder entstehen kann, in welcher Form auch immer. Allein diese Tatsache ist schon erstaunlich, denn wir alle wissen, wie unterschiedlich Leben von unbelebter Materie ist. Ein Frosch, der auf einem Stein sitzt, ist etwas ganz anderes als der Stein. Was soll das Leben sein, warum gibt es das? Ich kann diese Frage nicht beantworten, denn das Universum könnte auch völlig unbelebt existieren, und nehme die Tatsache als solche einfach hin. Daraus zu folgern, dass irgendeine transzendenten Instanz das Universum so angelegt hat, ist für mich nachvollziehbar, aber gehört nicht zur Wissenschaft, sondern zum Glauben. Und etwas Unerklärliches mit etwas weiterem Unerklärlichen (Schöpfer) erklären zu wollen, würde in dieser Frage nicht weiterhelfen. Man würde sie nur auf eine andere Ebene verlagern, ohne sie zu lösen. Allerdings ist die Frage nach dem Leben auch ohne Schöpfer kaum lösbar ist. Natürlich ist das Sein unerklärlich und ich finde auch die Tatsache, dass es Leben auf der Erde gibt, nicht trivial. Nur wenn man einen Schöpfer als letzte Ursache setzt, dann kann auch das Sein als letzte Ursache gesetzt werden. Noch einmal zur Frage der Teleologie. Man könnte sagen, wenn Leben entstehen muss, dieses ein teleologisches Moment wäre. Aber muss es entstehen, wenn die Bedingungen günstig sind? Ich weiß es nicht.

Auch wenn es, wie ich bereits geschrieben habe, im Universum überall Leben geben wird oder gegeben hat, bedeutet das nicht, dass das Universum voll von Leben ist. Das Universum besteht nur zu wenigen Prozent aus fester oder gasförmiger Materie. Wenn man als Beispiel unser Sonnensystem nimmt, dann hat die Sonne allein die 333.000fache Masse der Erde. Das heißt, alle Planeten unseres Sonnensystems stellen einen verschwindend geringen Anteil der Masse in unserem Sonnensystem dar. Und das ist in anderen Sonnensystemen vermutlich genauso. Das heißt, dass der Anteil möglicher Planeten mit habitablen Bedingungen im Universum in Bezug auf den gesamten Raum verschwindend gering ist. Ich kann und will die Rechnung nicht aufmachen, nehme aber an, dass man nur auf einem kaum messbaren Teil der Materie im Universum Leben finden würde. Dennoch wird es häufig sein. Das ist kein Widerspruch.

Diese Tatsache zeigt, dass man zwar davon sprechen kann, dass Leben zum Universum gehört, aber kaum davon, dass dieses eine bedeutende Rolle im Universum spielt. Ich muss mich deshalb wiederholen: Die Entstehung von Leben ist bereits bei der Entstehung des Universums (Urknall) als Möglichkeit angelegt, sonst gäbe es Leben nicht, aber es ist nur in verschwindend geringem Maße realisiert worden.

Evolution der Lebewesen - Phylogenie

Nach langem Nachdenken kann ich mich der Überzeugung nicht entziehen, dass es keine angeborene Tendenz zur fortschreitenden Entwicklung gibt.

Charles Darwin⁸

Auf der Erde ist Leben relativ schnell im anaeroben Bereich, also ohne Sauerstoff, entstanden. Es handelte sich um Organismen, die die wesentlichen Bestandteile allen späteren

⁸ Aus einem Brief an Alpheus Hyatt vom 4. Dezember 1872 (zu finden im Internet: *Darwin Correspondence Project*). Er bezieht sich in dem Brief auch auf eine Stelle in seinem Buch *Die Entstehung der Arten* und meint vermutlich: „Nach meiner Theorie bietet die fortwährende Existenz niederer Wesen keine Schwierigkeiten, denn die natürliche Zuchtwahl oder das Überleben des Tüchtigsten schließt noch nicht notwendig einen Fortschritt der Entwicklung ein“ (Darwin 1976, S. 178).

Lebens hatten, aber Einzeller noch ohne einen echten Zellkern waren. Man spricht von Prokaryoten, die in zwei Domänen unterteilt werden, die Bakterien und die Archaeen. Beide Gruppen gibt es in großer Vielfalt noch heute, Bakterien sind aber zahlreicher.

Vor rund 2,7 Milliarden Jahren⁹ haben sich aus den Bakterien die Cyanobakterien entwickelt. Sie zeichneten sich durch einen neuen Stoffwechselweg aus. Mit ihren fotosynthetisch aktiven Farbstoffen konnten sie mit Hilfe des Sonnenlichts aus Kohlendioxid und Wasser durch Fotosynthese Kohlehydrate (Zucker) bilden. Das Abfallprodukt dieses Stoffwechselweges war Sauerstoff, ein äußerst reaktives und daher toxisches Gas für anaerobe Bakterien und Archaeen. Das endete für viele tödlich und löschte einen erheblichen Teil der anaeroben Bakterien und Archaeen vor rund 2,4 Milliarden Jahren aus, da der Sauerstoffgehalt immer höher wurde (Great Oxidation Event (GOE).¹⁰ Die anaeroben Bakterien mussten sich in die Tiefe der Meere zurückziehen. Andererseits eröffnete der Sauerstoff denjenigen Organismen, die lernten, ihn zu verwenden, neue Möglichkeiten. Die Zellatmung (Verbrennung von Sauerstoff) erzeugt 20-mal mehr Energie als die sauerstofffreie Gärung. Mit Sauerstoff lässt sich die Verwertung organischen Materials wesentlich effizienter durchführen.

Durch die Sauerstoffatmung, die für uns Menschen heute eine Selbstverständlichkeit und Notwendigkeit ist, entstand die Möglichkeit für komplexeres Leben. Vor rund 1,6 bis 2 Milliarden Jahren entstanden aus Archaeen Einzeller mit einem echten Zellkern (Eukaryoten), bei denen die Erbsubstanz (DNS) innerhalb der Zelle in einer Hülle eingeschlossen ist. Einige Millionen Jahre später fand eine Endozytose statt. Bakterien wurden von eukaryotischen Einzellern oder Archaeabakterien aufgenommen und nicht verdaut. Aus dieser Endosymbiose wurden die Kraftwerke der Zelle, die Mitochondrien, die bis heute über eine eigene mitochondriale DNS verfügen, was auf ihren Ursprung als Bakterien hindeutet. Anderen Eukaryoten oder Archaeen gelang dasselbe mit Cyanobakterien, die sie ebenfalls nicht verdauten. Daraus entstanden eukaryotische Zellen, die zur Fotosynthese fähig waren und wiederum selbst Sauerstoff produzierten. Allerdings haben auch fotosynthetisch aktive Organismen Mitochondrien für Phasen des Lichtmangels und für solche Zellen, die keine Fotosynthese betreiben können, z. B. Wurzelzellen.

Schon einige Cyanobakterien konnten lange Fäden aus einzelnen Zellen bilden. Auch einige eukaryotische Einzeller blieben nach der Teilung in verschiedenartigen Zellverbänden zusammen. Das waren die ersten Mehrzeller, die gemeinsam umherschwammen, allerdings noch keine differenzierten Einzelzellen hatten. Das geschah geschätzt 500.000 Millionen Jahre nach der Bildung der ersten Eukaryoten.

Die Fortpflanzung der Einzeller, ob Pro- oder Eukaryoten, erfolgt in der Regel durch Teilung. Aber es werden auch Gameten gebildet, die, wenn sie aus zwei verschiedenen Arten

⁹ Diese, wie auch andere Zahlen variieren in der Literatur t. w. erheblich.

¹⁰ Der Sauerstoffgehalt lag allerdings erst bei 1%, was aber für die anaeroben Bakterien schon tödlich war. Zu Beginn der Sauerstoffproduktion durch die Cyanobakterien wurde dieser noch durch Eisen und andere Elemente gebunden (Oxidation), aber dann reichertete er sich immer mehr an. Eine Milliarde Jahre lang lag die Sauerstoffkonzentration unter 5%. Erst vor 800 Millionen Jahren stieg sie an und erreichte vor 600 Millionen Jahren in etwa die heutige Konzentration von 21%. Als die Landpflanzen begannen, Lignin zu produzieren und riesige Bäume entstanden, verbrauchten diese enorme Mengen von CO₂ und produzierten Sauerstoff. Da das Lignin von Bakterien noch nicht abgebaut werden konnte, stieg die Sauerstoffkonzentration auf 35%, bei gleichzeitiger Abkühlung der Erde. Die hohe Sauerstoffkonzentration ermöglichte den Tracheenatmenden Gliederfüßern viel größer zu werden, als wir das heute kennen, z. B. Libellen mit einer Flügelspannweite von 70 Zentimetern.

bestehen (+/- oder männlich/weiblich) zur sexuellen Vermehrung führte. Auch durch Konjugation tauschen eine Reihe eukaryotische Einzeller Genmaterial aus. Zwei Individuen legen sich mit ihren Mundbereichen aneinander, als ob sie sich küssen, und wechseln dann Kernmaterial. Beides bedeutete eine bessere Durchmischung der Erbsubstanz, was besonders für die Eukaryoten wichtig ist. Bakterien und Archaeen tauschten und tauschen ihr Erbmaterial einfach horizontal aus, auch zwischen Arten, was in der Evolution sehr vorteilhaft für eine schnelle Anpassung ist und u. a. zu den bei Menschen gefürchteten Antibiotika-Resistenzen führen kann. Es ist bei Bakterien allerdings oft schwierig von Arten zu sprechen, wegen dieses ständigen Austausches. Man schätzt heute, dass es mindestens 100 verschiedene Stämme (Phyla) bei den Bakterien und Archaeen gibt, das sind weit mehr als alle Protisten-, Tier-, Pflanzen und Pilzstämme zusammen (rund 70).

Exkurs: Biomasse

Die Gesamtsumme der Biomasse auf unserem Globus beträgt geschätzte 550 Gigatonnen Kohlenstoff. Ich gebe hier Zahlen aus einer Studie von 2018 wieder (Y. M. Bar-On, R. Phillips, R. Milo: *The biomass distribution on earth*. PNAS 19. Juni 2018, 115(25) 6506-6511). Die Angaben enthalten auch Unsicherheitsfaktoren:

Pflanzen	450 Gigatonnen Kohlenstoff (Unsicherheitsfaktor 1,2-fach)
Bakterien	70 Gigatonnen Kohlenstoff (Unsicherheitsfaktor 10-fach)
Pilze	12 Gigatonnen Kohlenstoff (Unsicherheitsfaktor 3-fach)
Archaeen	7 Gigatonnen Kohlenstoff (Unsicherheitsfaktor 3-fach)
Protisten	4 Gigatonnen Kohlenstoff (Unsicherheitsfaktor 4-fach)
Tiere	2 Gigatonnen Kohlenstoff (Unsicherheitsfaktor 5-fach)

Aus den angegebenen t. w. sehr großen Unsicherheitsfaktoren ergibt sich, dass man in der Literatur unterschiedliche Aussagen zum Anteil der verschiedenen Lebewesen an der Biomasse findet, z. B. dass die Biomasse der Bakterien genauso groß ist wie die der Pflanzen. Auch zur Gesamtbiomassezahlen findet man Angaben zwischen 350-550 Gigatonnen Kohlenstoff. Viren, die nicht zu den Lebewesen zählen, machen 0,2 Gigatonnen Kohlenstoff aus, mit einem sehr hohen Unsicherheitsfaktor von 20-fach.

Die Fortpflanzung der Einzeller, ob Pro- oder Eukaryoten, erfolgt in der Regel durch Teilung. Aber es werden auch Gameten gebildet, die, wenn sie aus zwei verschiedenen Arten bestehen (+/- oder männlich/weiblich) zur sexuellen Vermehrung führte. Auch durch Konjugation tauschen eine Reihe eukaryotische Einzeller Genmaterial aus. Zwei Individuen legen sich mit ihren Mundbereichen aneinander, als ob sie sich küssen, und wechseln dann Kernmaterial. Beides bedeutete eine bessere Durchmischung der Erbsubstanz, was besonders für die Eukaryoten wichtig ist. Bakterien und Archaeen tauschten und tauschen ihr Erbmaterial einfach horizontal aus, auch zwischen Arten, was in der Evolution sehr vorteilhaft für eine schnelle Anpassung ist und u. a. zu den bei Menschen gefürchteten Antibiotika-Resistenzen führen kann. Es ist bei Bakterien allerdings oft schwierig von Arten zu sprechen, wegen dieses ständigen Austausches. Man schätzt heute, dass es mindestens 100 verschiedene Stämme (Phyla) bei den Bakterien und Archaeen gibt, das sind weit mehr als alle Protisten-, Tier-, Pflanzen und Pilzstämme zusammen (rund 70).

Die Fortpflanzung der Einzeller, ob Pro- oder Eukaryoten, erfolgt in der Regel durch Teilung. Aber es werden auch Gameten gebildet, die, wenn sie aus zwei verschiedenen Arten bestehen (+/- oder männlich/weiblich) zur sexuellen Vermehrung führte. Auch durch Konjugation tauschen eine Reihe eukaryotische Einzeller Genmaterial aus. Zwei Individuen legen sich mit ihren Mundbereichen aneinander, als ob sie sich küssen, und wechseln dann Kernmaterial. Beides bedeutete eine bessere Durchmischung der Erbsubstanz, was besonders für die Eukaryoten wichtig ist. Bakterien und Archaeen tauschten und tauschen ihr Erbmaterial einfach horizontal aus, auch zwischen Arten, was in der Evolution sehr vorteilhaft für eine schnelle Anpassung ist und u. a. zu den bei Menschen gefürchteten Antibiotika-Resistenzen führen kann. Es ist bei Bakterien allerdings oft schwierig von Arten zu sprechen, wegen dieses ständigen Austausches. Man schätzt heute, dass es mindestens 100 verschiedene Stämme (Phyla) bei den Bakterien und Archaeen gibt, das sind weit mehr als alle Protisten-, Tier-, Pflanzen und Pilzstämme zusammen (rund 70).

Vor rund 1,2 Millionen Jahren¹¹ begannen sich Lebewesen zu entwickeln, in deren Zellverbänden es spezialisierte Zellen gab. Ein heutiger Vertreter, der zu den Protisten gerechnet wird, ist die Grünalge *Volvox*, eine aus vielen miteinander verbundenen begeißelten Einzelzellen bestehende Kugel. Nur bestimmte Zellen sind zur Fortpflanzung befähigt, andere sind für die Fortbewegung zuständig. Es werden im Inneren der Kugel Tochterkolonien gebildet, die dann freigesetzt werden, wobei die „Mutterkugel“ stirbt. *Volvox* gilt als ein Modellorganismus auf dem Weg zur Vielzelligkeit. Mit dieser Spezialisierung ging auch eine Weiterentwicklung der Sexualität einher und es gab erstmals den Tod als Element bei der Fortpflanzung, denn wenn die Mutterzelle die Tochterkugeln entließ, starb sie ab.

Wenn sich erst vor 1,2 Milliarde Jahren erste Organismen mit differenzierten Zellen entwickelt haben, bedeutet das, dass es mindestens 2,5 vielleicht auch 3 Milliarden Jahre nur Einzeller Einzeller gegeben hat, einige davon in unspezialisierten Zellverbänden. Insofern scheint sich Leben bei günstigen Bedingungen einerseits relativ schnell zu entwickeln, andererseits komplexeres Leben nicht. Der berühmte Paläontologe, Geologe und Evolutionsbiologe Steven J. Gould (1941-2002) vertrat die Ansicht, dass das Leben in der Entwicklung nicht die Möglichkeit hatte, einfacher zu werden, da die Bakterien das Einfachste darstellten. Von dieser „Wand“ auf der einen Seite gab es also nur die Möglichkeit sich „auch mal“ zur anderen Seite zu entwickeln, also komplexer zu werden. Dieses ist, so Gould, keine Notwendigkeit, sondern nur eine Möglichkeit der Evolution, die genutzt wurde. Er verwendet dafür den Ausdruck Kontingenz. Da aber nach wie vor Bakterien die dominante Lebensform auf der Erde sind, kann man also nicht davon sprechen, dass das Leben sich immer in Richtung Komplexität entwickelt. Allerdings gab es nach den verschiedenen, teilweise verheerenden Massenaussterben von Arten nach der kambrischen Explosion vor 542 Millionen Jahren immer wieder neue komplexe Organismen, die aus den überlebenden Arten entstanden. Man kann das als eine Art Trend bezeichnen, der neben der Dominanz der Einzelligkeit existiert. Was nach dem eben Ausgeführte die Frage nach der Zielgerichtetetheit oder Teleologie angeht, heißt das in meinen Augen, dass es zumindest in der Phylogenetese der Lebewesen keine solche gegeben hat oder gibt.

Erst vor rund 580-600 Millionen Jahren tauchte eine Fauna mehrzelliger Organismen auf, die man heute Ediacara-Fauna nennt. Der Name leitet sich von der ersten Fundstätte ab, den Ediacara-Hügeln in Australien. Mittlerweile hat man diese fossile Fauna weltweit an vielen Stellen gefunden. Es handelte sich um benthische Formen, also am Meeresboden festsitzende oder sich bewegende Arten. Die bisher gefundenen Arten, weniger als 300 an der Zahl, sind zwischen wenigen Millimeter kleinen Organismen bis rund zwei Meter lange Wedel. Räuber gab es in der Ediacara-Fauna noch nicht, weshalb auch vom „Garten Eden“ gesprochen wird.

Dieses erste Auftreten von größeren mehrzelligen Organismen (Metazoen) in der Erdgeschichte hatte vermutlich zwei Ursachen, den inzwischen durch Fotosynthese höheren Sauerstoffgehalt¹² im Wasser und das Ende der wiederholten Eiszeiten der Erde von vor 750 bis 580 Millionen Jahren, die teils zu einer fast kompletten Eisbedeckung der Erde führten („Schneeball-Erde“). Allerdings könnte man auch die Hypothese vertreten, dass es erst dann, weil es möglich war und nicht wegen einer Notwendigkeit, zum mehrzelligen Leben der Ediacara-Faune kam (Kontingenz) und es vielleicht vorher auch schon kleines, mehrzelliges Leben gab. Es ist aber auch denkbar, dass die Entwicklung zur Mehrzelligkeit evolutiv deshalb gelang, weil

¹¹ Auch hier noch einmal der Hinweis, dass diese Zahlen in der Literatur sehr unterschiedlich angegeben werden.

¹² Siehe Fußnote 9.

es unter den tierischen Einzellern (Protozoen) inzwischen viele Räuber gab, denen die Organismen durch Wachstum und damit Mehrzelligkeit und Größe besser entkommen konnten.

Exkurs: Geologische Zeitskala

Wir sprechen oft von Erdzeitaltern. Das ist aber keine naturwissenschaftliche Bezeichnung, sondern eine umgangssprachliche. Der korrekte Begriff ist „Geologischen Zeit-skala“. Diese wird von der Internationalen Kommission für Stratigraphie (ICS) festgelegt. Das ist die Kommission, die sich auch gegen das Anthropozän als neue Epoche entschieden hat. Die Geologische Zeitskala ist sehr komplex und wird umso kleinteiliger, je mehr wir uns der Jetzt-Zeit nähern. Die Einteilung erfolgt in die Kategorien **Äon**, **Ära**, **Periode** und **Epoche**. Es gibt vier Äonen seit Entstehung der Erde, gerechnet in Millionen Jahren: **Hadaikum** (4600-4000), **Archaikum** (4000-2500), **Proterozoikum** (2500-541), **Phanerozoikum** (541-0). Die Äonen sind in Äras unterteilt, die letzte Ära, das Phanerozoikum ist unterteilt in **Paläozoikum** (541-252), **Mesozoikum** (252-66) und **Känozoikum** (66-0). Das Känozoikum begann vor 66 Millionen Jahren mit dem Asteroideneinschlag im Golf von Mexiko. Es unterteilt sich wiederum in die Perioden **Paläogen** (66-23), **Neogen** (23-2,6) und **Quartär** (2,6-0). Wir leben also im Quartär. Die Kleinteiligkeit des Phanerozoikums röhrt daher, dass dieses mit der Kambrischen Explosion begann, die wiederum zu Fossilien führte, anhand derer die Einteilung erfolgt. Das Quartär wird erneut unterteilt in die beiden Epochen **Pleistozän** (2,6-0,012) und **Holozän**, das erst vor 12.000 Jahren begann. Jetzt bereits eine neue Epoche einzuleiten ist kaum zu rechtfertigen, zumal deren Beginn auch sehr langfristig nachweisbar sein müsste. Als ein Kriterium für den langfristigen Nachweis wurde von den Befürwortern des Anthropogens die Ablagerung von Radionukleiden, die es vorher nicht gab, durch Atombombenexplosionen angeführt. Diese Tests und die beiden Abwürfe im 2. Weltkrieg gibt es aber erst seit 80 Jahren. Das rechtfertigt nach dem ICS noch keine neue Periode in der Geologischen Zeitskala. Dem stimme ich zu. Hier noch mal eine Zusammenfassung, unserer Stellung in der Erdgeschichte:

Hadaikum (4500-3850) in diesem Äon begann das Leben auf der Erde

Archaikum (3850-2500) in diesem Äon existierten nur einzellige Prokaryoten

Proterozoikum (2500-542) in diesem Äon tauchten die einzelligen Eukaryoten auf und am Ende die Mehrzeller der Ediacara-Fauna

Phanerozoikum (542-0) dieses Äon ist geprägt durch die Kambrische Explosion

Känozoikum (65,5-0) der Asteroideneinschlag im Golf von Mexiko leitete das Ende der Sauzier und Aufkommen der Säugetiere ein

Quartär (2,6-0) Beginn der bis heute andauernden Eiszeit und erstes Auftreten der verschiedenen Menschenarten

Holozän (0,012-0) Beginn der Warmzeit innerhalb der Eiszeit

Über das Warum des Aussterbens der Ediacara-Fauna gibt es ebenfalls verschiedene Hypothesen. Sicherlich reicht die Ediacara-Fauna bis in den Beginn der kambrischen Explosion hinein, von der es zwar nach den fossilen Belegen so aussieht, dass sie sehr plötzlich entstand. Allerdings kann es auch hier pelagische (schwimmende) und benthische (am Boden lebende) Organismen gegeben haben, die begannen, sich von den Organismen der Ediacara-Fauna zu

ernähren. Das wurde dann vermutlich durch die rasante Zunahme der Organismen der kambrischen Explosion derart beschleunigt, dass die Ediacara-Fauna komplett ausstarb. Zumaldest gibt es keine Hinweise darauf, dass irgendwelche Organismen aus der Ediacara-Welt in der heutigen Welt durch evolutionäre Entwicklung überlebt haben

Eine weitere, nicht eindeutig einzuordnende Fauna ist die Small-Shelly-Fauna. Es handelt sich um kleine Organismen mit einer Schale aus Kalziumkarbonat, teils röhrenförmig, oft in der Form heutiger Schnecken. Solche Gehäuse tauchen bei dieser Fauna zum ersten Mal in der Evolution der Lebewesen auf, vermutlich, weil zu diesem Zeitpunkt der Kalziumgehalt zum Bau solcher Schalen im Meerwasser gestiegen war. Die Small-Shelly-Fauna überlappte geologisch vermutlich einige Millionen Jahre mit der Ediacara-Fauna, aber auch mit den Organismen der kambrischen Explosion, zu denen sie heute meist gerechnet werden. Es gibt aber auch die Hypothesen, dass sie, wie die Ediacara-Fauna, einen eigenen Weg in der Evolution darstellte, der dann wieder ausstarb. Es ist bis heute so, dass es zu der Ediacara-Fauna, der Small-Shelly-Fauna und anderen Lebensgemeinschaft dieses Zeitabschnitts, z. B. den Organismen einer russischen Fundstelle, der Tommotium-Fauna, verschiedenste Hypothesen gibt, die nur durch weitere Funde geklärt werden könnten, oder aber auch nie geklärt werden.

Exkurs: Taxonomie

Die Taxonomie ist die Wissenschaft von der Einteilung oder Klassifizierung der Lebewesen. Man kann bei den Lebewesen sechs Reiche (Domänen) unterscheiden: Bakterien, Archaeen, Protisten, Pilze, Tiere und Pflanzen. Jede Domäne besteht aus verschiedenen Stämmen (Organismen mit einem ähnlichen Bauplan). Die nächsten taxonomischen Stufen unterhalb der Stämme sind Klassen, Familien, Ordnungen, Gattungen und Arten. Als ein Beispiel sei der Siebenpunkt-Marinekäfer genannt. Er gehört ins Reich der Tiere (Animalia), dort in den Stamm der Gliederfüßer (Arthropoden), die Klasse der Insekten (Hexapoda), die Ordnung der Käfer (Coleoptera), die Gattung Marienkäfer (Coccinellidae) und die Art *Coccinella septempunctata*. Der Artnname schließt nach dem von Carl von Linné 1754 vorgestellten und bis heute gültigen Systems der binären Taxonomie den Gattungsnamen mit ein. Gattungs- und Artname werden kursiv geschrieben, der Artname klein.

Mittlerweile schlagen einige Forscherinnen und Forscher vor, die Eukaryoten als eine Gruppe innerhalb der Asgard-Archeen (eine bestimmte Untergruppe der Archaeen) zu betrachten. Dies würde die Anzahl der Domänen des Lebens von drei auf zwei reduzieren: Archaeen einschließlich der Eukaryoten, zu denen Einzeller und alle Mehrzeller zählen, und Bakterien.

Die kambrische Explosion ist eines der sonderbarsten Phänomene in der Evolution der Lebewesen. Vor rund 542 Millionen Jahren begann, vielleicht mit der Small Shelly Fauna oder parallel dazu, eine enorme Entwicklung von vielzelligen Organismen, die schon Darwin vor ein Rätsel stellte, der dieses Phänomen aus Fossilfunden kannte. Es widersprach seiner Annahme einer kontinuierlichen Entwicklung der Evolution der Lebewesen.¹³ Mit der Entdeckung einer Fundstätte in den kanadischen Rocky Mountains, dem Burgess-Schiefer, stellten die Wissenschaftler fest, dass sich in der kambrischen Explosion nicht nur die heute existierenden

¹³ Darwin meinte als Ausweg aus diesem Dilemma, dass die vorherigen Organismen auf dem Weg zu dieser Vielfalt, sich fossil nicht erhalten haben, gab aber zu, darauf keine befriedigende Antwort zu besitzen (Darwin 1976, S.463).

Baupläne entwickelt hatten, sondern noch viele mehr, die zu diesem Zeitpunkt, vor rund 530 Millionen Jahren, noch nicht wieder ausgestorben waren. In nur rund 10 Millionen Jahren, einem geologisch extrem kurzen Zeitraum, war es zu dieser vorher nie gekannten Vielfalt an neuen Bauplänen gekommen, vor allem von Arthropoden (Gliederfüßer).¹⁴

Ob die Pläne, die sich im weiteren Verlauf der Evolution durchgesetzt haben, die besten waren oder nur Glück hatten, ist eine Interpretationsfrage. Manchmal sind es umweltbedingte Kleinigkeiten, die eine Gruppe von Organismen wieder aussterben lässt und eine andere überleben. Wären die Bedingungen etwas anders gewesen, hätte vielleicht eine andere Entwicklung stattgefunden. Würde man, ohne Kenntnis, welche Stämme überlebten, vorhersagen müssen, welche Gruppen es schaffen könnten und welche nicht, würden Paläontologen und Biologen, sich vermutlich nie auf die vier überlebenden Äste einigen, sondern ganz unterschiedlichen Vorschläge machen. Retrospektiv ist es immer einfach, zu begründen, warum eine Gruppe von Organismen überlebt hat, aber prospektiv nicht.

Der bereits erwähnte Paläontologe Steven J. Gould stellt fest, dass die Verschiedenartigkeit in dieser Phase eine weit höhere war als heute, die Vielfalt aber eine geringere. Er meint damit, dass die Artenzahl heute weitaus höher liegt als während der kambrischen Explosion, es aber bei den Bauplänen genau umgekehrt ist. Wenn man z. B. die 1 Million heute beschriebener Insektenarten nimmt, so sind davon 350.000 Arten Käfer, also die Abwandlung eines einzigen Konstruktionsplans.

Warum sich im Kambrium in so kurzer Zeit so viele Baupläne entwickeln konnten, war sicherlich eine Kombination aus verschiedenen Faktoren. Einer davon war vermutlich der höhere Sauerstoffgehalt, aber es könnte zusätzlich das erstmalige Auftreten von großen, vielzelligen Räubern gewesen sein.¹⁵ Sie waren von der Artenzahl zwar nicht sehr umfangreich, aber dennoch sehr bedeutend. Während die Ediacara-Fauna, nachdem sie durch Größe den protozoischen Räubern entkommen war und unbehelligt wachsen und sich vermehren konnte, sofern es genügend Nährstoffe gab, mussten sich nun nicht räuberische Organismen dem Auftreten von großen Räubern stellen und evolutiv weiterentwickeln. Das hat vermutlich die Evolution beschleunigt.

Allerdings ist das nur ein Grund für die kambrische Explosion. Ein anderer Grund ist vermutlich ein ähnlicher wie bei der Ediacara-Fauna. Die ökologischen Bedingungen nach der Vereisung der Erde waren günstig, die möglichen Lebensräume für Mehrzeller riesig. Und vielleicht war der Genpool der Organismen noch „jung“ und viel flexibler als bei heutigen Organismen. Es wurde ohne Ende herumprobiert, weil es möglich war. Und dann kommt noch die Systemtheorie ins Spiel, die besagt, dass nicht alles kontinuierlich verläuft, wie Darwin das dachte, sondern erst einmal zu großer Diversität, um sich dann in einer Phase der Dezimierung zu stabilisieren.

Dass das plötzliche Auftreten so vieler neuer Baupläne eine immanente Tendenz in der Evolution aufzeigt, bezweifle ich, denn wenn das so wäre, warum dann so spät, erst 3 Milliarden Jahre nach dem Beginn des Lebens auf der Erde? Dass es aber so plötzlich geschah,

¹⁴ Es werden heute auch Ansichten vertreten, die besagten, dass die kambrische Explosion keine solche Explosion war, sondern sich doch schon etwas länger angekündigt hat durch verschiedene Organismen. Aber auch bei diesen Annahmen handelt es sich immer noch um einen vergleichsweise kurzen Zeitraum.

¹⁵ Die Bezeichnung „groß“ ist relativ. Die Fauna der kambrischen Explosion war für unsere Verhältnisse klein, oft nur Millimeter oder einige Zentimeter groß. Der größte Organismus, *Anomalocaris*, war vielleicht 60 cm lang. Aber im Vergleich zu den Einzellern waren alle Organismen sehr groß bis riesig.

überraschte viele Biologen. Einige Gründe, warum es so kam, habe ich eben versucht, zu erläutern. Daraus eine teleologische Interpretation abzuleiten, teile ich nicht, denn parallel zu der Entwicklung zu mehrzelligen Organismen in relativ kurzer Zeit, hat es weiterhin stets eine Dominanz einzelliger Organismen, ob prokaryotisch oder eukaryotisch gegeben.

Allein die Tatsache, dass unser menschlicher Körper ungefähr so viele Einzeller beherbergt, wie er selbst Zellen hat, zeigt das deutlich. Es ist also nicht so, dass die Evolution eine klare Tendenz zu Mehrzelligkeit und Komplexität hat, sondern diese ist, wie bereits mehrfach erwähnt, nur eine der Tendenzen, zumal es auch Organismen gibt, die ihre Komplexität in der Evolution zurück entwickeln. Warum wir Komplexität oft als Notwendigkeit interpretieren, liegt sicherlich an unserer Wahrnehmung. Wir haben keine Probleme, Tiere und natürlich auch Pflanzen unserer Größenordnung wahrzunehmen, womit ich damit alles vom Regenwurm bis zum Elefanten meine und vom kleinen Pilz bis zum großen Baum. Aber die Vielfalt der Bakterien sehen wir nicht, sondern denken dabei meist an Krankheiten. Und auch die vielen Protisten (eukaryotische Einzeller) sehen wir nicht und damit sind sie für viele nicht existent, so vielfältig sie auch sein mögen. Und selbst von den kleinen Mehrzellern, die sogar schon ein Gehirn haben, wie Räderterre (Rotatoria), Bärtierchen (Tardigrada) und Bauchhärlinge (Gastrotricha), alles eigene Stämme, wissen die meisten Menschen fast oder überhaupt nichts.

Nachdem sich das Leben mit der kambrischen Explosion neu aufgestellt hatte, hat es fünf Katastrophen gegeben, die vielen Tier- und auch Pflanzenarten den Garaus gemacht haben. Das erste vor rund 444 Millionen Jahren, als die Landmassen noch ohne Leben waren, ausgelöst durch eine neue Vereisung und eine Änderung der Strömungen mit der Konsequenz von weniger Sauerstoff im Wasser. Diese Vereisung hielt rund eine Million Jahre an. Hauptsächlich zu Beginn, aber auch am Ende dieser Vereisung, verschwanden insgesamt 80% der Tiere. Trotzdem hatte das nur einen geringen Effekt, das Leben erholte sich schnell.

72 Millionen Jahre später kam das nächste Aussterben, vor 372 Millionen Jahren. Zu der Zeit gab es schon Leben an Land. Bärlappgewächse bildeten ausgedehnte Wälder, flügellose Insekten, Skorpione, primitive Amphibien die Fauna. Die Wälder verbrauchten so viel Kohlendioxyd (CO_2), dass sich das Klima abkühlte, der Meeresspiegel sank und erneut der Sauerstoffgehalt der Meere. Die Riffe und die Flachwasserbewohner gingen zugrunde. Abgestorbene Organismen sanken zu Boden und zehrten noch mehr am Sauerstoff. Das Landleben wurde vermutlich weniger beeinträchtigt.

Weitere 120 Millionen Jahre später, vor 252 Millionen Jahren, an der Grenze vom Perm zu Trias, gab es die nächste Katastrophe. Die Eiskappen an den Polen breiteten sich wieder aus, gleichzeitig stieg der CO_2 -Gehalt der Luft und damit die Temperatur. Gleichzeitig nahm aber auch der Sauerstoffgehalt in der Luft ab und machte das Leben vielen Organismen schwer bis unmöglich. Als dann eine Million Jahre später im heutigen Sibirien aus zahlreichen Spalten gigantische Mengen von Lava eine Million Jahre lang ausströmten und eine Fläche so groß wie das heutige Europa kilometerdick bedeckte, die Luft verpesteten und die Temperatur um 6°C stieg, setzte eine Kettenreaktion ein. An den Polen wurde es genauso warm wie in den Tropen und die Meeresströmungen kamen zu Stillstand. Erneut kam es zu Sauerstoffmangel in den Meeren und grüne Schwefelbakterien breiteten sich aus. 96% aller im Meer lebenden Tierarten verschwanden, und dann gelang der giftige Schwefelwasserstoff von den Bakterien in die Luft und tötete Pflanzen und Tiere. Aber, wie bei den vorherigen Katastrophen, nicht alle.

Es brauchte lange Zeit, bis sich das Leben erholt hatte, erste Saurier entwickelten sich und nach einer weiteren Krisenzeite vor 201 Millionen Jahren begann ihre Hochzeit, da verschiedene Nischen frei geworden waren. Aber auch die Zeit der Saurier währte nicht sehr lange, nur gut 160 Millionen Jahre, denn vor 66 Millionen Jahren schlug ein Asteroid in den Golf von Mexiko ein und veränderte das Klima derart, dass sie und viele andere Arten nicht standhalten konnten. Die letzten heutigen Nachkommen der Saurier sind die Vögel. Erwähnenswert finde ich, dass Libellen, eine Ordnung in der Klasse der Insekten, bereits vor den Sauriern existiert haben. Sie haben deren Kommen und auch deren Gehen in der Evolution miterlebt und sind heute noch da, seit 300 Millionen Jahren.

Als die Saurier begannen auszusterben (das ging nicht, wie manchmal angenommen, innerhalb von ein paar Jahren) begann die Chance für die Säugetiere, die es zwar schon fast so lange wie die Saurier gab, allerdings nur als kleine Tiere. Aber erneut der Hinweis, dass das alles nicht dazu geführt hat, dass die pro- und eukaryotischen Einzeller in gleicher Weise ausgestorben sind, sie gab es immer kontinuierlich weiter, auch wenn sich die Arten veränderten. Trotz aller Katastrophen und anderer Widrigkeiten hat sich komplexes Leben immer wieder neu gebildet. Ich würde das nicht als eine Notwendigkeit interpretieren, sondern einerseits im Sinne von Gould, dass es einfacher als Bakterien nicht geht, aber auch in dem Sinne, dass die Grundlage für komplexes Leben auch nach Katastrophen nicht völlig verschwunden war und sich somit aus diesen Überlebenden neu entwickeln konnte. Es wurden aber nach der kambrischen Explosion keine neuen Baupläne gebildet, sondern es waren weiterhin nur vier, die aus den zahlreichen Bauplänen der kambrischen Explosion übriggeblieben waren.

Das alles spricht deutlich gegen die Annahme, dass die Entwicklung in der Evolution, so wie sie sich uns heute darstellt, so kommen musste. Abgesehen davon, dass die Evolution der Arten eine Mischung aus zufälligen Mutationen und epigenetischen Faktoren ist, hätte die gesamte Evolution auch völlig anders laufen können, ohne oder mit anderen Katastrophen, der fast vollständigen Vereisung der Erde und anderen drastischen Umweltveränderungen, von denen wir Menschen gerade eine weitere eingeleitet haben. Nach neuen Erkenntnissen muss den Arten zwar eine aktiver Rolle in der Evolution zugesprochen werden (Erweiterte Evolutionstheorie), aber deshalb bestimmen sie noch nicht die gesamte Phylogenie (Stammesentwicklung).

Der Mensch musste also nicht entstehen, sondern ist ein Zufallsprodukt der Evolution, nur ein kleiner Seitenast. Vielleicht wäre auch ohne die Säugetiere und den Menschen höheres Bewusstsein entstanden, aber die Rahmenbedingungen in den anderen Tierstämmen waren und sind nicht sehr groß. Und es würde Zeit brauchen. In rund 1 Milliarde Jahren wird die Erde, zumindest für die höheren Tiere inklusive uns Menschen, kein bewohnbarer Planet mehr sein, sofern wir überhaupt so lange als Art überleben. Wären die Bedingungen und Katastrophen in den letzten 3,8 Milliarden bis 4 Milliarden Jahren, seitdem es Leben gibt, etwas anders gewesen, dann hätte sich in den komplexeren Säugetieren, inklusive uns Menschen, verbleibenden 1 Milliarde Jahre vielleicht gar kein höheres Bewusstsein entwickelt und die Erde wäre ihrem Ende entgegengegangen, bevor es ein solches Bewusstsein gegeben hätte, mit ihrer wunderbaren Fauna und Flora. Vielleicht wären dann bis zum Ende der Erde nur Insekten oder deren Nachfolger zwischen viel Grün und Blüten umhergeschwirrt.

Das ist für viele Menschen schwer einsehbar und vermutlich auch eine Kränkung, denn oft genug wird *Homo sapiens* als „Krone der Schöpfung“ bezeichnet. Nur hat es, wie ausgeführt, keine Schöpfung gegeben, sondern vermutlich eine ungerichtete Evolution, sowohl der

unbelebten als auch der belebten Materie.¹⁶ Zweifelsohne ist unser selbstreflexives Bewusstsein etwas Einzigartiges auf der Erde, vielleicht sogar im Universum. Aber es ist eben auch nur eine außergewöhnliche Fähigkeit, wie es viele andere im Reich des Lebendigen gibt. Dazu kommt leider, dass wir uns von allen bekannten Arten negativ abheben, weil wir uns zwar einerseits stark vermehrt und über den ganzen Erdball ausgebreitet haben, aber andererseits dabei sind, uns gegenseitig auszurotten und unsere Umwelt so negativ zu verändern, dass wir uns unsere eigene Lebensgrundlage unter den Füßen wegziehen.

Übrigens ist der moderne Mensch (*Homo sapiens*) als Art derart kurz auf der Erde, gerade einmal 300.000 Jahre, davon erst seit ca. 50.000 Jahren im heutigen Europa, sodass das im Grunde geologisch noch nicht darstellbar ist. Deswegen halte ich es auch für falsch, die geologische Epoche des Holozäns zu beenden und mit dem Anthropozän fortzusetzen. Dieser Vorschlag von verschiedenen Wissenschaftlern wurde im März 2024 auch von der zuständigen internationalen Kommission abgelehnt.

Wenn die Saurier nicht ausgestorben wären, hätten sich die Säugetiere sicherlich nicht in der Form und Größe, wie sie heute existieren, entwickeln können und es hätte vermutlich keine Menschen gegeben. Katastrophen und andere, vielleicht kleine Änderungen in der Umwelt, können die Evolution in ganz andere Bahnen lenken. Wenn man zurück zur kambrischen Explosion gehen könnte, mit der großen Zahl von Bauplänen, und die Evolution von da ab noch einmal laufen ließe, was wäre dann? Sie wäre nie wieder in gleicher Form abgelaufen. Es gab vermutlich nur eine einzige kleine Linie mit einem kleinen Tier namens *Pikaia* mit verstieifter Rückensäule, das erste Chordatier. Aus diesem könnten sich alle Wirbeltiere entwickelt haben, zu denen auch wir zählen. Hätte genau diese Linie nicht überlebt, was sehr gut möglich gewesen wäre, denn die Articulata (Gliedertiere)¹⁷ waren in Form verschiedener Stämme weit zahlreicher vertreten, hätte es vermutlich nie Wirbeltiere gegeben, da es nach der kambrischen Explosion keine Entwicklung neuer Baupläne mehr gab. Es hätten somit keine Säugetiere und keine Menschen gegeben.

¹⁶ Ich hatte aber bereits ausgeführt, dass den Lebewesen eine aktiver Rolle in der Evolution zugestanden werden muss als bisher angenommen. Aber auch diese hat phylogenetisch Grenzen.

¹⁷ Die Articulata unterteilen sich in die Anneliden (Ringelwürmer) und die Arthropoden (Gliederfüßer). Diese Unterteilung wird allerdings seit knapp 30 Jahren immer wieder von Molekularbiologen in Frage gestellt, aber das nicht abschließend geklärt.

Exkurs: Evolution des Menschen

Aus den Vorläufern von Affen und Menschen haben sich verschiedene Vor-, Früh- und Menschenarten, sowie die heutigen Menschenaffen entwickelt. Die Vor-, Früh- und Menschenarten hoben sich von den anderen Primaten und Hominiden (Menschenaffen) durch ihren aufrechten (bipedalen) Gang ab, was ihnen die Benutzung der Hände für andere Zwecke erlaubte, z. B. die Herstellung von Werkzeugen.

Die Entwicklung begann vor rund 6 Millionen Jahren in Afrika, erste Menschen sind aber erst vor 3,3 Millionen Jahren als Fossilfunde (*Australopithecus*) nachgewiesen. Frühe der Gattung *Homo* zugeordnete Arten sind *H. erectus* und *H. heidelbergensis*, die vor 1,5-2 Millionen Jahren in Afrika entstanden. Vermutlich ging letztere aus erster Art hervor. Sie verließen vor mehr als 1 Million Jahren Afrika über Kleinasien und verbreiteten sich über die ganze Welt. Analysen legen nahe, dass es vor 1,2 Millionen Jahren weltweit erst 55.000 Individuen der Gattung *Homo* gab. Aus den beiden Arten entwickelten sich verschiedene weitere Arten außerhalb Afrikas: *H. neanderthalensis* in Europa, *H. floresiensis* in Ostasien und *H. denisova* in Asien. In Afrika entwickelte sich währenddessen aus *H. erectus* oder *H. heidelbergensis* unsere Art *H. sapiens*, der moderne Mensch. Da die Forschung immer neue Erkenntnisse bringt und Wissenschaftler unterschiedliche Abstammungslinien annehmen, sind diese Aussagen sicherlich nicht endgültig.

Die einzige bis heute überlebende Art, *Homo sapiens*, entstand erst vor gut 300.000 Jahren in Afrika und begann sich vor 80-100.000 Jahren über Kleinasien in der ganzen Welt auszubreiten. In Europa gibt es *H. sapiens* vermutlich erst seit rund 50.000 Jahren. Der moderne Mensch traf in Europa und Asien auf die Neandertaler und andere Arten, die dort schon fast eine halbe Millionen Jahre lebten. *H. sapiens* hat die anderen Arten, auf die er traf, nicht kriegerisch ausgerottet hat, obwohl es auch Auseinandersetzungen gab, sondern sich mit ihnen vermischt und langsam durch die bessere Anpassung und Waffen zum Jagen und letztlich die Einführung der Landwirtschaft vor 12.000 Jahren verdrängt.

10.000 bis 20.000 Jahre nach seiner Ankunft in Europa in der Altsteinzeit, vor rund 30.000 bis 40.000 Jahren, lebten in Europa vielleicht 40.000 *H. sapiens* und eine nicht genau zu ermittelnde Zahl Neandertaler. In der Hochphase der Neandertaler vor 130.000-40.000 Jahren waren es in Europa vielleicht 250.000 Individuen. Auf der gesamten Welt werden es auch nur einige Hunderttausend bis max. 1 Million gewesen sein. Vor 2000 Jahren gab es aber bereits 200 Millionen Menschen auf der Erde, 1650 rund 500 Millionen und um 1900 waren es bereits 1,6 Milliarden. Heute leben über 8 Milliarden Menschen auf der Erde. Von der Populationsdynamik her gesehen ist der Mensch eine Erfolgsgeschichte. Aber leider nur diesbezüglich.

Übrigens waren die Menschen in Europa noch bis vor wenigen Tausend Jahren dunkelhäutig, z. B. der berühmte „Ötzi“. Die helle Hautfarbe kam erst sehr spät aus Anatolien von dort ansässigen *H. sapiens* nach Europa.

Embryogenese und Ontogenese

Ich habe bisher nur vom Kosmos, seiner Entwicklung und möglichem Leben auf anderen Himmelkörpern gesprochen, sowie der Phylogenetik, also der Evolution der Lebewesen auf der Erde. Die im nächsten Absatz zu diskutierenden Begriffe Teleologie und Teleonomie beziehen sich meist nicht auf den Kosmos oder die Phylogenetik der Lebewesen, dafür umso häufiger auf die Embryogenese und die Ontogenese. Deshalb dazu einleitend ein paar Erläuterungen.

Wenn ein vielzelliger Organismus sich aus einem Keim oder einer Eizelle entwickelt, dann entstehen aus einer Zelle durch Teilung zwei, vier usw., die weiter zusammenhängen. Es findet ab einem gewissen Stadium eine sichtbare Differenzierung statt und es entsteht ein komplettes Tier, ein Pilz oder eine Pflanze. Es gibt also eine Entwicklung aus einer Zelle zu einer komplexen Ganzheit. Diesen Prozess haben Naturforscher seit jeher mit Staunen betrachtet und sich gefragt, wie diese Entwicklung zu einer Ganzheit möglich sein kann. Lange bevor man etwas über die Erbanlagen oder die DNS wusste, nahm man deshalb an, dass es einen Faktor oder auch eine Lebenskraft geben müsste, die diese Entwicklung bewirkt. Dazu gab es zahlreiche Ideen und Theorien, und es gibt viele noch heute.

Bedeutend waren lange Zeit die Vitalisten, von denen der letzte wichtige Hans Driesch (1867-1941) war, Professor in Leipzig, bevor diese von den Mechanisten verdrängt wurden, die nach und nach die Oberhand gewannen.¹⁸ Vitalisten nahmen ein Ganzheits-Prinzip an, das Hans Driesch Entelechie nannte. Er stellte sich dieses nicht-physikalische Prinzip als in die Entwicklung eingreifend und regulierend vor. Das Problem war die Schnittstelle, wie dieses Prinzip in materielle, nach physikalischen und biologischen Gesetzen funktionierende Wachstum eingreifen sollte.

Wenn die Embryogenes abgeschlossen ist, also ein fertiges Tier oder eine Pflanze entstanden ist, geht der Lebenszyklus des Individuums bis zum Tod weiter. Den gesamten Zyklus vom Beginn der Embryogenese bis zum Tod bezeichnet man als Ontogenese. Die Ontogenese nach der Embryogenese wird durch interne Faktoren, z. B. die Gene und die Genregulation, aber auch sehr stark durch externe Faktoren der Umwelt und bei höheren Tieren die Erziehung bzw. die kulturelle Evolution bestimmt. Darüber gibt es wenig Dissens.

Weiter möchte ich auf dieses Spezialgebiet nicht eingehen, sondern auf die Frage nach Teleologie, Finalität, Zweck und Zufall zu sprechen kommen.

Teleologie, Teleonomie, Zweck und Zufall

Die Teleologie ist für den Biologen wie eine Mätresse:
er kann nicht ohne sie leben, aber er will nicht mit
ihr in der Öffentlichkeit gesehen werden.

J. B. S. Haldane (1892-1944, Biologe)

¹⁸ „Der Konflikt zwischen Mechanismus und objektivem Vitalismus war es, der etwa während des letzten Jahrhunderts [gemeint ist das 19. Jahrhundert] zwei Heerlager schuf, in die sich die Biologen aufteilten. Selbst in meiner eigenen Studienzeit schien noch die wichtigste Frage für jeden Biologen zu sein, in diesem großen Streit der Meinungen eine Position zu beziehen“ (Waddington, 1966, S. 8). Waddington lebte von 1905 bis 1975.

Die vorherigen Abschnitte waren ein Überblick über die Dimensionen des Kosmos und die Stellung des Lebens und des Menschen auf der Erde, sowie die Phylogenetese und die Ontogenese. Aus meinen bisherigen Ausführungen ist bereits hervorgegangen, dass ich einer Teleologie in der Gesamtentwicklung der belebten und unbelebten Natur zurückhaltend gegenüberstehe und erst recht finalistischen Ansätzen. Aber was sind die grundsätzlichen Ansätze über die Annahme von Teleologie, Finalität, Zweckmäßigkeit einerseits und Teleonomie und Zufalls andererseits?¹⁹ Dazu ein Versuch, diese zu kategorisieren:

1. Der religiöse, transzendenten Ansatz setzt in der Regel einen Schöpfer und eine Schöpfung voraus. Es ist der klassische teleologische Ansatz, der meist auch mit Finalität verbunden ist. In der christlichen Religion hat Gott (beschrieben in der Genesis) die Erde und das Leben geschaffen. Der einzelne Mensch muss sich im Laufe seines Lebens bewähren, indem er gottgefällig lebt und Böses im Sinne Gottes unterlässt, um dann zum ewigen Leben in das jenseitige Paradies zu kommen, oder fallweise ins Fegefeuer und dann bei nicht bestandener Probe in die Hölle. Im Judentum soll es einen zweiten Messias geben, der einen endgültigen Gottesstaat, in dem es kein Leid mehr geben wird und bei dem alle Toten auferstehen, einleitet. In indischen Religionen, die teilweise monotheistisch sind, wird der Mensch, wenn er zu Lebzeiten ein schlechtes Karma entwickelt hat, wiedergeboren und muss sich erneut bewähren, um dann irgendwann ins Nirvana (Buddhismus) oder ein anders bezeichnetes Jenseits einzugehen. Es gibt in den meisten Religionen nicht nur einen Schöpfer oder eine Schöpfung, sondern auch ein klar definiertes Ziel. In diesem Denken ist der Mensch die „Krone der Schöpfung“. Bei Teilhard de Chardin ist das Ziel der Punkt Omega. Der religiöse Ansatz, in welcher Form auch immer, ist ein dualistischer Ansatz, der neben den Gesetzen der Physik und Biologie noch ein weiteres von diesen Gesetzen unabhängiges Prinzip annimmt. Kant sagt dazu in seiner *Kritik der Urteilskraft* 1790 (§68):

„Wenn man also für die Naturwissenschaft und in ihren Kontext den Begriff von Gott hereinbringt, um sich die Zweckmäßigkeit in der Natur erklärllich zu machen, und hernach diese Zweckmäßigkeit wiederum braucht, um zu beweisen, daß ein Gott sei: so ist in keiner von beiden Wissenschaften innerer Bestand.“

2. Ein Sonderfall ist der Pantheismus, bei dem es auch einen Schöpfer gibt, der alles angestossen hat, aber dann nicht mehr in das weitere Geschehen eingreift.
3. Ein weiterer teleologischer und finalistischer Ansatz ist bei Hegel zu finden, mit seiner Idee einer sich stufenweise entwickelnden Geschichte hin zu einem finalen Weltgeist. Aus Hegel abgeleitet ist die materialistische Weltanschauung von Marx und Engels, die sich an Hegels Vorstellungen orientierten, aber das Ziel nicht im Idealismus suchten, sondern im Hier und Jetzt, im Materialismus. Aus diesem Denken wurde der historische Materialismus mit einem gesetzmäßigen Ablauf der Geschichte, die im Kommunismus enden wird.
4. Eine andere Idee ist, dass es eine Richtung und einen Plan gibt, aber kein klar definiertes Ziel:
 - a. Eine Variante ist, dass dieser Plan nur auf die Embryogenese, also die Entwicklung eines Organismus aus einem Ei bis zum vollständigen Organismus bezogen wird,

¹⁹ Man denkt bei der Evolution immer schnell an Baupläne und Veränderungen morphologischer Art. Es muss aber auch das sehr viel schwieriger zu fassende Verhalten der Organismen mit einbezogen werden.

oder dass bei verschiedenen Tieren während der Ontogenese²⁰ eine Regeneration stattfindet, z. B. bei Salamandern die der abgetrennten Gliedmaßen oder bei Planarien, die durchtrennt wurden, die Entwicklung beider Hälften zu neuen kompletten Organismen. Hier wird ein Bezug zu einer angestrebten Ganzheit angenommen, die durch einen hinterlegten, nicht physikalischen Plan bewerkstellig wird.

- b. Eine andere Variante ist, dass man diesen Plan auch für die Phylogenetese, also die evolutionäre Entwicklung annimmt, ohne dabei einen Endpunkt zu definieren oder notgedrungen einen Schöpfer anzunehmen. Es gäbe aber demnach eine Richtung ohne ein bestimmtes Ziel.

Es handelt meist um eine dualistische Sichtweise, nach der es ein Prinzip (keine physikalische Kraft oder Energie) gibt, die diesen Plan enthält. Die Entstehung dieser Theorien, die meist unter den Begriff Vitalismus fallen, hängen insofern mit der Darwin'schen Evolutionstheorie zusammen, als dass viele Naturwissenschaftler speziell mit Darwins Theorie der kleinen, zufälligen Mutationen, die die gesamte Evolution ungerichtet vorantreiben, nicht einverstanden waren. Sie konnten sich nicht vorstellen, wie eine solche Komplexität, wie wir sie heute vorfinden, nur aufgrund von Zufällen zustande kommt. Diese Kritik verstummte auch über hundertfünfzig Jahre nach Darwins bahnbrechendem Buch über die Entstehung der Arten nicht.

Der gängige nicht-teleologische Ansatz ist, dass die Evolution der belebten Natur keine spezielle Richtung hat und in erste Linie auf Zufällen beruht. Das betrifft auch den Menschen. Allerdings gibt es einen Plan im Keim bzw. der Eizelle, der zum fertigen Organismus (Tier oder Pflanze) führt. Diese Theorie spricht in Anlehnung an die Teleologie von Teleonomie, oder wie bei Dobzhansky, von interner Teleologie (*internal teleology*). Dobzhansky war ein Mitbegründer der Synthetischen Evolutionstheorie (*Modern Synthesis*). Der Unterschied der Teleonomie zu Teleologie besteht darin, dass kein Plan in einer transzendenten Ebene angenommen wird (Dualismus), sondern nach der Entdeckung der DNS in der Erbsubstanz angesiedelt ist (Monismus). So sehen es die Anhänger der Synthetischen Evolutionstheorie, die das Prinzip des Gens vertreten, eine Barriere zwischen Körperzellen und Keimzellen (Keimbahn), die vom Neo-Darwinisten August Weismann (1834-1914) postuliert wurde. Im Prinzip nehmen beide Ansätze dasselbe an, nämlich, dass es einen Plan im sich entwickelten Leben gibt, der entweder abgespult wird, oder an bestimmten Stellen in die Entwicklung eingreift. Auch wenn der Begriff Teleonomie in der Naturwissenschaft heute weniger gebraucht wird, ist das die Annahme der meisten Biologen. Die Abgrenzung von Teleologie zu Teleonomie hat J. B. S. Haldane treffend in dem Satz formuliert, der am Beginn dieses Kapitels steht.

5. Neuere spannende Theorien zur Evolution postulieren, dass die Evolution nicht nur von puren Zufällen, bedingt durch kleine Mutationen in der Erbsubstanz und einem Plan in der DNS getrieben wird, sondern dass Individuen und Arten ihre Umwelt aktiv verändern und somit auch sich. Dabei geht es auch um die Vererbbarkeit erworbener Eigenschaften. Sie nehmen somit die Kritik, die es seit Darwin am Mechanismus der Evolution gibt, wieder auf. Ein früher Wegbereiter dieser Theorie war der Biologe Conrad Hal Waddington (1905-1975), der annahm, dass es gewisse vorgezeichnete Wege gibt (Creoden), in deren Bahnen

²⁰ Die Embryogenes bezeichnet die Entwicklung zu einem vollen Organismus, oder bei einer Pflanze zu einem frühen Stadium der Pflanze, während die Ontogenese die gesamte Lebensspanne eines Organismus umfasst, bis zum Tod.

sich ein Individuum, aber auch eine Art entwickelt. Es ist aber möglich, dass von einer Bahn in eine andere gesprungen werden kann, im Sinne der Überwindung eines Potenzialwalls. Waddington wandte sich allerdings klar gegen den Begriff und die Theorie der Teleologie. In der neuen Evolutionstheorie, die immer mehr Anhänger findet²¹, taucht der Begriff der internen Teleologie neben dem der Teleonomie auf. In diesem Ansatz wird die Meinung vertreten, dass die Organismen ein zielorientiertes Verhalten (*purposiveness*) haben und somit ihre Entwicklung intelligent mitgestalten. Eine Rolle spielt dabei auch die Systemtheorie von Ludwig von Bertalanffy (1901-1972) und die von komplexen Systemen bei Stuart Kaufmann (*1939). Diese sagen aus, dass Systeme, wenn sie komplex genug sind, und das trifft auf alle Lebewesen zu, sich selbst organisieren und durch Emergenz neue Eigenschaften entstehen. Das bedeutet, dass Lebewesen ihre Organisation und Entwicklung selbst in die Hand nehmen und sich nicht nur von zufälligen Mutationen abhängig machen. In diesem Sinne würde auch ein Samenkorn, Keim oder befruchtete Eizelle durch die eigene Komplexität eine Entwicklung der in ihr liegenden Ganzheit in Gang setzen. Eine überzeugende Aussage ist, dass das Leben schlecht beraten wäre, wenn es sich bei seiner evolutiven Entwicklung nur auf kleine, zufällige Mutationen verlassen würde. Es ist intelligent genug, alle zu Verfügung stehenden Möglichkeiten zu nutzen. Und dazu gehört die aktive Gestaltung der eigenen Entwicklung und die der Art. Dazu gehört auch die Vererbung ererbter Eigenschaften.

Allgemein kann man sagen, dass es Jahrtausende in den meisten Religionen die Annahme eines Schöpfers gab, der nicht nur das Leben als solches, sondern auch alle Arten von Leben geschaffen hat. Das war überwiegend so bis zu Darwins Buch über die Entstehung der Arten, aber auch noch bis heute in vielen Gesellschaften. Darwin stellte einen Schöpfer in Frage und nahm an, dass die Entstehung und Entwicklung des Lebens (Evolution) auf Zufällen beruht. Da viele, auch nicht religiöse Naturwissenschaftler nicht glauben konnten, dass sich komplexe Strukturen bei den Lebewesen nur aufgrund reiner Zufälle entwickelt haben sollten, entstanden teleologische Hypothesen, von denen verschiedene finalistisch waren. Ein wesentlicher Gedanke dabei ist die auf Ganzheit bezogene Entwicklung. Die Embryogenese ist auf einen kompletten Organismus ausgerichtet. Aus etwas Einfachem entsteht etwas Komplexes. Daraus resultierte im Vitalismus die Ansicht, dass in der Eizelle oder dem Samenkorn ein Faktor stecken muss, der auf diese Ganzheit hin ausgerichtet ist. Der Neo-Vitalist Hans Driesch bevorzugte den Begriff Ganzheitsbezogenheit anstelle von Teleologie. Die Anwendung der Zielgerichtetheit auf die Phylogenetese, also die Evolution, vertreten nur einige vitalistische Naturwissenschaftler.

Zu Darwin sei angemerkt, dass er, im Gegensatz zu vielen seiner Nachfolger, keineswegs dogmatisch in Bezug auf seine Theorie war. So hat er sich wohl eher als Agnostiker bezeichnet und auch die Vererbung ererbter Eigenschaften, wie von Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829) angenommen, nicht abgelehnt. Im Gegenteil, er hat dazu eine eigene Theorie entwickelt, die Pangenesis-Hypothese.²² Auch alle Zweifel an seiner Theorie hat er nicht ernst

²¹ 2021 fand eine online-Konferenz der *Linnean Society of London* statt, die in einer Publikation dieser Gesellschaft mündete (Corning P. et al. 2023, Evolution „on Purpose“). In der *Linnean Society* wurden 1858 übrigens erstmals Darwins und Wallace Selektionstheorien vorgetragen, bevor dann 1859 Darwins berühmtes Buch über die Entstehung der Arten erschien. Auf dieser online-Konferenz von 2021 wurde in vielen Vorträgen die gängige Evolutionstheorie z. T. scharf angegriffen und immer wieder auf die interne Teleologie bzw. Teleonomie in einer anderen Definition, sowie die Zweckmäßigkeit hingewiesen.

²² Charles Darwin (1868) Das Variieren der Thiere und Planzen im Zustande der Domestication. Stuttgart, Schweizerbart’sche Verlagsbuchhandlung, S. 470-529.

genommen, sondern sich mit allen in seinen Büchern auch auseinandersetzt. Erst seine Nachfolger, die Neo-Darwinisten, haben aus seiner Theorie eine dogmatische gemacht, die nur noch die kleinen Mutationen und den Zufall als Treiber der Evolution zuließen. Das mündete dann in die Synthetische Theorie der Evolution, die bis heute dominiert.

Die Annahme eines Schöpfers und einer Schöpfung gehört in den Bereich des Glaubens und ist deshalb für die empirische Naturwissenschaft nicht relevant. Damit wäre auch das Problem des Seins und speziell des Lebens nicht gelöst, sondern nur auf eine andere, nicht beweisbare Ebene verlagert. Agnostizismus ist keine Lösung, denn solange es keinerlei Indiz für einen Schöpfer gibt, kann man im Grunde nicht offen dafür sein, dass es einen gäbe. Dann müsste man auch in Bezug auf andere Glaubensrichtungen Agnostiker sein, wie z. B. die Astrologie. Sich als Atheist zu bezeichnen, bedeutet andererseits, seine Weltanschauung über eine Negation zu definieren, und zwar die Negierung Gottes. Man sollte die Frage nach Transzendenz als Glaube bezeichnen, der mit Wissenschaft wenig zu tun hat, wie es Kant im obigen Zitat andeutet, und es dabei belassen.

Die unbelebte Natur entwickelt sich seit dem Urknall ungerichtet und zufällig. Letzteres, weil es durch die Quantentheorie nicht nur deterministische Vorgänge gibt, sondern auch probabilistische (zufällige). Die Entstehung von Leben ist schwieriger einzuordnen. Die Natur hätte sich auch ohne Leben weiterentwickeln können und tut das auch im übergroßen Teil des Universums. Vermutlich ist die Entstehung von Leben ein Zufall, der von günstigen Rahmenbedingungen und langen Zeiträumen abhängig war. Die Frage, *warum* es Leben gibt, das so verschieden von unbelebter Materie ist, lässt sich heute nicht beantworten. Wenn man entgegen dem Panpsychismus der unbelebten Materie keinen Geist oder Willen zuspricht, kann sich aus ihr auch nicht willentlich das Leben entwickelt haben, was für den Zufall spricht.

Interessanter ist die Entwicklung des Lebens und der Evolution über die Embryogenese, die Ontogenese bis zur Phylogenetese. Die Embryogenese und die Regeneration wird vermutlich durch einen Stimulus in Gang gesetzt werden. Ein Samenkorn braucht Feuchte, eine durchschnittene Planarie registriert den Verlust der Ganzheit und gleicht diesen aus²³. Die Ontogenese eines Individuums bis zum Tod und seine aktive Rolle in dieser, was auch für Pflanzen zutrifft, erklärt sich aus der Komplexität des Systems, aus der heraus die Entwicklung im Zusammenspiel mit der belebten und unbelebten Umwelt stattfindet und neue, emergente Eigenschaften hervorgebracht werden. Diese Entwicklung inklusive der beschriebenen aktiven Rolle eines Individuums und einer ganzen Population kann als interne Teleologie, im Gegensatz zur dualistischen externen Teleologie, oder als Teleonomie bezeichnet werden. Dabei ist der Begriff Teleonomie nicht im Sinne der Vertreter der Synthetischen Evolutionstheorie zu verstehen, die ihn nur als einen Plan in der DNS annehmen, der automatisch abgespult wird.

Es gibt einen Plan im Keim, der zu einer Ganzheit führt und somit in der Embryogenese als finalistisch in Bezug auf den zu bildenden Organismus bezeichnet werden kann und in der Ontogenese als zielorientiert. Was die Phylogenetese, also die Stammesentwicklung oder Evolution angeht, kann man natürlich die Ansicht vertreten, dass diese, wenn man Individuen und Populationen eine aktive Rolle zugesteht, auch zielorientiert sei, denn sie wird von diesen in eine Richtung bewegt. Dennoch ist die gesamte Evolution der Lebewesen von so vielen

²³ Die Fähigkeit der Regeneration, wie ihn Planarien und andere Lebewesen haben, ist natürlich keine generelle Eigenschaft, sondern auf bestimmte Tiere und viele Pflanzen beschränkt.

Zufällen abhängig, wie Umweltveränderungen, Meteoriteneinschlägen, Vulkanausbrüchen, dass man sie kaum als langfristig gerichtet ansehen kann.

Noch ein Wort zu den kleinen, zufälligen Mutationen. Das bisher Geschriebene besagt in keiner Weise, dass es sie nicht gibt. Es gibt sie selbstverständlich und sie spielen eine Rolle in der Evolution der Lebewesen. Allerdings gibt es nicht nur negative, die wieder verschwinden, und positive, die sich durchsetzen können, sondern, wie schon Darwin schrieb, neutrale, also solche, die in der derzeitigen Situation weder positiv noch negativ sind. Sie werden nach der Erweiterten Evolutionstheorie beibehalten und in einer Art Werkzeugkasten abgelegt, da sie eines Tages bei geänderten Bedingungen nützlich sein können. Das ist vermutlich eine der Ursachen für die Plastizität, mit der Lebewesen sehr schnell auf geänderte Umweltbedingungen reagieren können. Wenn diese Veränderungen eintreten, wäre es fatal, wenn dann auf zufällige Mutationen, die nützlich wären, gewartet werden muss. Wichtig ist, dass die DNS keine handelnde Entität ist, sondern durch Faktoren, die außerhalb der DNS liegen, z. T. außerhalb des Zellkerns bei eukaryotischen Organismen, durch epigenetische Faktoren „benutzt“ wird, um in bestimmten Situationen die dafür geeigneten Proteine zu synthetisieren. Damit wird die Rolle der Gene stark relativiert.²⁴

Bleibt abschließend noch einmal zu überlegen, wie Zweck und Ziel einzuordnen sind. Wenn Organismen und auch Populationen ihre Entwicklung mitbestimmen, liegt darin ein zielorientiertes Verhalten. Karl Ernst von Baer (1792-1876), ein seinerzeit berühmter deutsch-balassischer Biologe, schrieb:

Der Begriff des Wortes „Ziel“ ist ein mehr unbestimmter, der wegen dieser Unbestimmtheit den Zweck mit einschließen kann. Er setzt aber nicht, wie dieser, ein Bewusstsein voraus.

Zweck ist eine gewollte Aufgabe, Ziel eine gegebene Richtung des Wirkens; Zweck ist ein Ausfluß der Freiheit, Ziel ein vorgeschriebener Erfolg, der auch durch Notwendigkeit erreicht werden kann.

Entwicklung und Zielstrebigkeit in der Natur, 1983, S. 125 und 154

Der Biologe Heinz Penzlin (*1932) schreibt:

Teleonomie bedeutet in der Biologie „zielgerichtet“ aber niemals „zielbeabsichtigt“ oder „zielintendiert“. Teleonomie ist Zielgerichtetetheit ohne Kenntnis des Ziels.

Das Phänomen Leben, 2. Aufl. 2016, S. 36

Mit der Definition von v. Baer ist angedeutet, warum er Zweck vermeiden möchte, obwohl er an anderer Stelle schreibt, dass auch der Begriff „zielorientiert“ missinterpretiert werden kann. Es ist, wie so oft, alles eine Frage von Definition. In Bezug auf Zweck bevorzugte er die Begriffe zweckmäßig und Zweckmäßigkeit, gestand aber ein, dass auch das nur bedingt hilfreich sei. Wir können bei Pflanzen und Tieren retrospektiv erläutern, welchen Zweck bestimmte Verhaltensweisen oder morphologische Strukturen haben, wenn sie einmal vorhanden sind. Wenn eine Wespe schwarz-gelb gemustert ist, ist das eine Warntracht.

²⁴ Richard Dawkins hatte noch vom egoistischen Gen gesprochen und ein berühmtes Buch darüber geschrieben (*The selfish gen*).

Exkurs: Erweiterte Evolutionstheorie

In Folge von Darwins Annahme, dass zufällige, kleine und ungerichtete Mutationen die Evolution vorangetrieben haben, wurde die Synthetische Evolutionstheorie (*Modern Theory*) 1937 durch Theodosius Dobzhansky (1900-1975) entwickelt und ab 1942 durch Ernst Mayr (1904-2005), Julian Huxley (1887-1975) und auch den deutschen Biologen Bernhard Rensch (1900-1988) weiterentwickelt. Ihre Aussage ist, dass nichts anderes als die zufälligen Mutationen die Evolution vorantreiben. So dogmatische war nicht einmal Darwin, der auch die Vererbung erworbener Eigenschaften für möglich hielt und über jede berechtigte Kritik intensiv nachdachte.

Seit rund 10-15 Jahren entwickelt sich eine neue Richtung, die eine Erweiterte Evolutionstheorie vorschlägt, in der Arten eine wesentlich aktiver Rolle zukommt. Die vier Eckpunkte sind:

1. Die Evo-Devo-Theorie (evolutionary developmental biology)

Evo-Devo hat verschiedene Prinzipien:

- a) Organismen verfügen über sehr ähnliche molekulare Mechanismen der Individualentwicklung, wie einen „Werkzeugkasten“, der mit regulatorischen Molekülen ausgestattet ist, die die Genexpression kontrollieren.
- b) Die regulatorischen Moleküle des Werkzeugkastens können unabhängig voneinander in unterschiedlichen Geweben und Körperregionen eingesetzt werden, wodurch ein modularer evolutionärer Wandel möglich wird.
- c) Unterschiede in der Entwicklung können auf zeitliche oder räumliche Veränderungen der Aktivität von regulatorischen Molekülen oder auch auf Veränderungen im Ausmaß ihrer Aktivität zurückgehen.
- d) Unterschiede zwischen einzelnen Arten können auf Veränderungen der Expression von Genen beruhen, die die Entwicklung steuern.
- e) Ein evolutionärer Wandel von Entwicklungsprozessen kann auf Umwelteinflüsse zurückgehen, die diese Entwicklungsprozesse modulieren.

Es gibt drei Arten von Mutationen, negative, neutrale und positive. Die negativen werden wieder ausselektiert, die positiven kommen zu Anwendung. Die neutralen werden meist beibehalten, weil sie nicht schädlich sind, aber sich später vielleicht einmal als nützlich herausstellen, wenn es andere Rahmenbedingungen für das Lebewesen gibt.

2. Inklusive Vererbung

Unter inklusiver Vererbung wird neben der klassischen auch die nicht-zufällige Mutation und die epigenetische Vererbung verstanden, also die Vererbung erworbener Eigenschaften. Es wird postuliert, dass die Gene nicht nur eine Ablesefunktion haben (*read*), sondern auch in diese eingeschrieben werden kann (*write*). Man könnte also eine *read-write*-Funktion der Gene annehmen.

3. Entwicklungsplastizität

Sie beschreibt die Umwelt in einer neuen Rolle. In der Synthetischen Theorie passen sich Populationen an die Umwelt an und Vorteile, die durch Mutationen entstanden sind, werden positiv selektiert. Nach der Erweiterten Evolutionstheorie verändert auch die Umwelt die Organismen. Der Phänotyp ist demnach sowohl eine Kreation der Gene als auch der Umwelt. Die phänotypische Plastizität ist die Fähigkeit eines individuellen Organismus, seinen Phänotyp als direkte Antwort auf Umweltstimuli oder -inputs zu ändern.

4. Nischenkonstruktion

Bei der Synthetischen Theorie passt sich das Individuum oder die Population passiv an eine vorhandene Nische an. Bei der Erweiterten Evolutionstheorie kann sich eine Art eine Nische ursächlich und nicht zufällig selbst schaffen, die dann ein Teil ihrer Selektionsbedingungen sowie auch anderer Arten wird.

Der Zweck der Musterung ist, Fressfeinde abzuhalten. Aber es ist nicht so, dass die Wespe die Absicht hatte, diese Warntracht zu entwickeln. Das heißt, die Wespe setzt sich nicht das Ziel, eine bestimmte Färbung anzunehmen, um einen bestimmten Zweck zu erfüllen, selbst wenn man dem Tier eine gewisse Intelligenz zugestehen kann. Die Wespe entwickelt ihre Warntracht als Möglichkeit zielorientiert, ohne das Ziel zu kennen oder einen Zweck damit zu verfolgen. Es wird an dieser Frage deutlich, dass man mit dieser Beschreibung beinahe schon philosophische Gefilde betritt.

Beim Menschen ist es definitiv anders, weil er über sein Handeln reflektieren kann und über technische Möglichkeiten verfügt. Er kann sich ein Ziel setzen, z. B. ein Möbelstück zu bauen, und sich dann überlegen, was für den Bau zweckmäßig ist, z. B. bestimmte Werkzeuge. Diese entwickelt er, damit sie den Zweck erfüllen, um das Ziel zu erreichen, dass er sich gesetzt hat. Das ist ein technisch/kultureller Vorgang. Vielleicht können einige sehr intelligente Tiere auf einfacherem Niveau ähnliches machen, wenn sie über die Möglichkeit verfügen, Werkzeuge einzusetzen, wie das z. B. bei Primaten, einigen anderen Säugetieren, Vögeln und verschiedenen Insekten der Fall ist. Bedenkenswert ist noch, dass in der Biologie die Frage nach dem Zweck zwar einerseits wichtig, aber auch ein kausalanalytisches Vorgehen ist. Es ist fraglich, ob man damit dem Leben gerecht wird.

Zu einer kulturellen Evolution gehören auch Verhaltensweisen, sowohl beim Menschen als auch bei Tieren. Dass sich beim Menschen Verhaltensweisen entwickelt haben und weitervermitteln werden, die nichts mit Instinkten zu tun haben, ist trivial. Aber auch bei Tieren gibt es bereits umfangreiche Forschung dazu. Das klassische Beispiel sind Meisen in Südengland, die in den 1920er Jahren lernten, die Folendecke von Milchflaschen, die vor den Häusern standen, zu öffnen, um den Rahm zu trinken. Dieses Verhalten verbreitete sich durch einen Lerneffekt in ganz England, dann auch in Schottland und Irland. Die Weitergabe von solchem Verhalten, die in immer neuen Versuchen, bei Meisen und anderen Tieren, auch Insekten, untersucht wurden und werden, ist eindeutig eine kulturelle Evolution.

Eine bedenkenswerte Aussage von Arthur Schopenhauer (1788-1860) ist die Einschätzung des Lebens in Bezug zur Transzendenz:

Bei mir ist das Ewige und Unzerstörbare im Menschen, welches daher auch das Lebensprinzip in ihm ausmacht, nicht die Seele, sondern, mir einen chemischen Ausdruck zu gestatten, das Radikal der Seele, und dieses ist DER WILLE.

Kleinere Schriften, 2006, Band 3, Ueber den Willen in der Natur. S. 207

Der Sinn des Lebens kann vermutlich nur so beschrieben werden, dass es leben will. Die Schwierigkeit ist, zu definieren, was genau es bedeutet, etwas zu wollen. Aber als ein Aphorismus ist diese Aussage von Schopenhauer sehr geeignet.

Zusammenfassend noch einmal meine Sicht auf die Fragestellung:

Finalismus (Ziel): Nein, ich glaube nicht, dass das Sein und die Evolution der Lebewesen ein bestimmtes Ziel hat.

Teleologie: Nein im Sinne eines transzendenten Prinzips neben den Naturwissenschaften. Ja im Sinne einer internen Teleologie, wie sie Dobzhansky gemeint hat.

Teleonomie: Nicht im Sinne der Synthetischen Evolutionstheorie, wo sie lediglich einen Plan beschreibt, der in den Genen liegt. Ja, im Sinne einer Möglichkeit zur Entfaltung eines Organismus durch Komplexität im System.

Zufall: Ja, in Bezug auf die gesamte Evolution, nein in Bezug der Entwicklung eines Organismus in der Evolution.

Zweck: Nur gültig in Bezug auf Lebewesen, nicht auf die unbelebte Natur. Retrospektiv ja, denn sehr vieles, was man in der belebten Natur findet, erfüllt einen Zweck, prospektiv nur beim Menschen und vielleicht einigen Tieren, denn die allermeisten Lebewesen sind nicht in der Lage eine Zweck zu antizipieren.

Glossar wichtiger Begriffe

Die im Folgenden aufgeführten Begriffe werden nicht immer gleichermaßen benutzt und hängen auch miteinander zusammen. Ich habe versucht, die häufigste Verwendung und Zusammenhänge kurz zu erklären, so wie ich sie auch in diesem Artikel verwende.

Teleonomie

Vorgänge oder Verhaltensweisen, deren Zielgerichtetetheit auf das Wirken eines Programms zurückgeht. Teleonomie beschreibt die Funktion, die eine Struktur oder ein Verhalten eines Organismus bei der Bewältigung bestimmter Lebensaufgaben hat. Sie ist dem Organismus in der Regel nicht bewusst, sondern ist in seinem Erbgut als Ergebnis der Evolution verankert. Sie ist Ausdruck der Angepasstheit des Organismus an seine Umwelt.

Teleologie

Tatsächliches oder scheinbares Vorkommen zielgerichteter Prozesse in der Natur. Teleologie ist die Annahme, der zufolge Handlungen und Dinge oder überhaupt die Prozesse ihrer Entstehung und Entwicklung durchgängig zielorientiert ablaufen.

PLATON vertrat eine transzendentale Teleologie. Ordnung kann nur durch ein ordnendes Wesen zustande kommen (Weltseele, Gottheit).

ARISTOTELES, ein Schüler PLATONS, folgte dem Schluss nicht. Sein Standpunkt war der einer internen oder immanenten Teleologie. Er verlegt die Wirkung, das Ziel, bereits als Anlage in die Ursache, sodass das Bewirken nur noch das Entwickeln eines schon Vorbestehenden ist.

KANT meinte, wenn man in die Naturwissenschaft den Begriff von Gott hineinbrächte, um die Zweckmäßigkeit in der Natur erklärliech zu machen, und dann diese Zweckmäßigkeit wiederum braucht, um zu beweisen, dass es einen Gott gibt, so hat das keinen Bestand. Ebenso verwarf er den Teleologie-Begriff ARISTOTELES'. Die Teleologie als konstitutives Prinzip anzusehen würde bedeuten, eine neue Kausalität in die Naturwissenschaft einführen.

Zweckmäßigkeit (Zweck, zweckmäßig)

Alles Zweckmäßige in der lebendigen Natur ist nach heutigem Verständnis eine Zweckmäßigkeit a posteriori, das Resultat vorangegangener Selektion, die die Fortpflanzungschance derjenigen Lebewesen mit zufällig zweckmäßigeren Eigenschaften begünstigt und Unzweckmäßigem eine geringe Chance gibt, fortzubestehen. Man kann also bei einem Tatbestand in der Biologie fragen, welchen Zweck dieser erfüllt, aber umgekehrt kann ein Lebewesen nicht einen

Zweck vor Augen haben, und auf diesen gezielt hinarbeiten, sofern es kein gestaltendes Bewusstsein hat. Bewusste Handlungen können allerdings einen Zweck definieren und die geeigneten Maßnahmen treffen, um diesen zu erreichen. Eine Zweckmäßigkeit a priori in der Natur, ohne bewusstes Eingreifen, wäre ein teleologischer Vorgang.

Zielstrebigkeit (Ziel, zielstrebig)

Ziel und Zweck auseinander zu halten ist schwierig. Karl Ernst von Baer (1792-1876) schlägt vor, den Begriff Ziel statt Zweck zu verwenden, somit auch zielstrebig statt zweckmäßig, weil dies weniger nach einem gefassten Beschluss aussieht. Er ist sich aber bewusst, dass auch dieser Begriff zu Missverständnissen führen kann.

Finalismus (Finalität, finale Determiniertheit)

Glaube an eine der Natur innwohnende Tendenz zu einem vorherbestimmten Ziel oder Endzweck. Finalität oder finale Determiniertheit steht im Gegensatz zur Kausalität als ursächlicher Bestimmtheit oder Ursache-Wirkungszusammenhang. Der zugrunde liegende Zweck wird zur Finalursache. Man kann aber auch sagen, dass wenn alles aufgrund von Kausalität determiniert ist, dann ist bereits der Endzweck, selbst wenn wir ihn nicht kennen, in dieser Determiniertheit angelegt und wir können bewusst nur begrenzt eingreifen (Teleologie).

Kausalität

Die Kausalität bezeichnet die Ursachen-Wirkungsbeziehung. Sie beschreibt die Ursache für eine die Wirkung. Die Kenntnis dieser Beziehung ist das Standardziel aller Naturwissenschaften.

Orthogenese

Orthogenese ist die Hypothese, wonach das Leben die innere Tendenz besitzt, sich in eine vorgegebene Richtung zu entwickeln, die von einer internen oder externen treibenden Kraft gesteuert wird. Somit ist es ein Begriff, der sowohl Teleologie als auch Teleonomie umfasst.

Phylogenie (Stammesentwicklung)

Stammsgeschichte. Pfad der Abstammung von jeweiligen Vorfahren.

Ontogenese (Individualentwicklung)

Die Gesamtentwicklung eines Organismus aus befruchteten oder unbefruchteten Eizellen bis zum fertigen Organismus, aber auch seine weitere Entwicklung bis zum Tod. Der Begriff bezieht sich in der Regel nur auf vielzellige Lebewesen.

Embryonalentwicklung/Embryogenese

Die erste Phase der Individualentwicklung bei vielzelligen Lebewesen aus der befruchteten oder unbefruchteten (Parthenogenese) Eizelle zum lebensfähigen Organismus.

Wichtige Personen

Sehr viele Menschen aus Naturwissenschaft und Philosophie haben sich mit den Fragen beschäftigt, die in dem vorherigen Beitrag diskutiert wurden. Diejenigen, die für mich eine besondere Bedeutung haben, habe ich hier alphabetisch mit ihren Lebensdaten aufgelistet. Danach folgen die Bücher, die ich von ihnen und anderen diesbezüglich gelesen habe. Eine ganze Reihe von wichtigen Personen habe ich nicht aufgeführt, wie z. B. Aristoteles, Platon, Bergson und andere.

Karl Ernst von Baer (1792-1876)

Hans Driesch (1867-1941)

Immanuel Kant (1724-1804)

Stuart Kauffman (*1939)

Ernst Mayr (1904-2005)

Jacques Monod (1910-1976)

Heinz Penzlin (*1932)

Bernhard Rensch (1900-1990)

Arthur Schopenhauer (1788-1860)

Conrad Hal Waddington (1905-1975)

Franz M. Wuketits (1955-2018)

Ausgewählte Literatur

Baer, Karl Ernst von (1983): Entwicklung und Zielstrebigkeit in der Natur. Stuttgart: Freies Geistesleben.

Brockmann, Dirk (2025) Survival of the Nettest. München, dtv.

Dessauer, Friedrich (1949): Die Teleologie in der Natur. Basel: Ernst Reinhardt A. G.

Driesch, Hans (1928): Philosophie des Organischen. 4. Aufl. Leipzig: Quelle & Meyer.

Gould, Steven Jay (1991) Zufall Mensch – Das Wunder des Lebens als Spiel der Natur. München: Carl Hanser.

Gould, Steven Jay (1998) Illusion Fortschritt. Frankfurt a. M.: S. Fischer.

Jablonka, Eva; Lamb, Marion J. (2017) Evolution in vier Dimensionen. Stuttgart: Hirzel.

Kant, Immanuel (2018): Kritik der Urteilskraft. Frankfurt am Main: Suhrkamp.

Kauffman, Stuart A. (2019) A world beyond physics – The emergence & evolution of life. Oxford: Oxford University Press.

Lange, Axel (2020) Evolutionstheorie im Wandel. Heidelberg: Springer.

- Mayr, Ernst (1998): Das ist Biologie. Die Wissenschaft des Lebens. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Mayr, Ernst (2005): Das ist Evolution. München: Goldmann.
- Monod, Jacques (1996): Zufall und Notwendigkeit. Philosophische Fragen der modernen Biologie. München, Zürich: Piper.
- Noble, Denis (2017) Dance to the tune of life – Biological relativity. Cambridge: Cambridge University Pesss.
- Penzlin, Heinz (2016): Das Phänomen Leben. Grundfragen der Theoretischen Biologie. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Berlin: Springer.
- Rensch, Bernhard (1979): Gesetzlichkeit, psychophysischer Zusammenhang, Willensfreiheit und Ethik. Berlin: Duncker & Humblot.
- Rensch, Bernhard (1988) Probleme genereller Determiniertheit allen Geschehens. Berlin: Paul Parey.
- Schopenhauer, Arthur (2010): Werke. Band 3 Kleinere Schriften, Über den Willen in der Natur (S. 169-321). Frankfurt am Main: Haffmans bei Zweitausendeins.
- Spaemann, Robert; Löw, Reinhard (2005): Natürliche Ziele. Geschichte und Wiederentdeckung des teleologischen Denkens. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Vane-Wright, Richard I. & Corning, Peter A. (2023) Teleonomy in living systems: an overview. Biol. J. of the Linnean Society 139: 341-356.
- Waddington, Conrad Hal (1966) Die biologischen Grundlagen des Lebens. Braunschweig: Vieweg.
- Wuketits, Franz M. (2001): Naturkatastrophe Mensch. Evolution ohne Fortschritt. München: DTV.

© Dr. Stephan Krall, Kronberg, 1. Dezember 2025

Kontakt: stephan.krall@t-online.de